



An Analysis of the European Union and Iran's Approaches to Managing Municipal Plastic Waste from a Circular Economy Perspective

Mahmoud Rahmati*

Department of Chemical Engineering, Faculty of Chemistry and Chemical Engineering, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

Abstract

The transition from a linear economy to a circular economy in municipal plastic waste management is regarded as one of the pivotal challenges in the sustainable development of contemporary cities. This research has been conducted with the objective of comparatively assessing the performance of the European Union (EU) and Iran in plastic waste management through the lens of the circular economy. The comparison is structured around six key parameters: legal and regulatory frameworks, production and consumption patterns, speed and quality of recycling, collection and disposal systems, adoption of emerging technologies, and precision in source separation and waste categorization. Findings reveal that the European Union is advancing systematically toward a circular economy by integrating preventive legislation, binding quantitative targets (e.g., the 55% plastic recycling target by 2030), and cohesive technical infrastructures. As a result, the plastic recycling rate in the EU has reached 26.5%, surpassing its landfilling rate of 23.5%. In contrast, Iran despite enacting foundational legislation (such as the 2004 Waste Management Act) confronts serious structural challenges, including ineffective policy implementation, the absence of integrated recycling infrastructure, heavy reliance on the informal sector, and a lack of transparency in official statistics. These factors have confined Iran's plastic recycling rate to below 14%, with over 84% of plastic waste landfilled without prior separation. This study demonstrates that an effective transition to a circular economy in Iran necessitates fundamental reforms specifically, rigorous enforcement of regulations, elimination of administered pricing mechanisms, strengthening of supervisory institutions, standardization of practices, data transparency, and the promotion of informed civic participation rather than merely constructing recycling facilities.

Keywords: Circular Economy, Plastic Recycling, Municipal Waste Management, European Union

*Corresponding Author: Mahmoud Rahmati

Email: m.rahmati@kgut.ac.ir

Phone: 09127352804

Doi: 10.48306/juem.2026.560829.1124



مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۸/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۲/۱۶

بررسی رویکرد اتحادیه اروپا و ایران در مدیریت پسماندهای پلاستیکی شهری با دیدگاه اقتصاد چرخشی

محمود رحمتی*

دانشیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده شیمی و مهندسی شیمی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

چکیده

گذار از اقتصاد خطی به اقتصاد چرخشی در مدیریت پسماندهای پلاستیکی شهری، یکی از چالش‌های محوری توسعه پایدار شهرهای معاصر محسوب می‌شود. این پژوهش با هدف مقایسه عملکرد اتحادیه اروپا و ایران در مدیریت پسماند پلاستیکی از منظر اقتصاد چرخشی انجام شده است. مقایسه بر اساس شش پارامتر کلیدی چارچوب قانونی و نظارتی، الگوهای مصرف و تولید، سرعت و کیفیت بازیافت، سیستم‌های جمع‌آوری و دفع، به‌کارگیری فناوری‌های نوین و دقت در تفکیک و دسته‌بندی ضایعات در منبع صورت گرفته است. یافته‌ها نشان می‌دهد که اتحادیه اروپا با تلفیق قوانین پیشگیرانه، اهداف کمی الزام‌آور (مانند هدف ۵۵ درصد بازیافت پلاستیک تا سال ۲۰۳۰) و زیرساخت‌های فنی یکپارچه، در مسیر سیستماتیک به سمت اقتصاد چرخشی حرکت می‌کند؛ به‌طوری که نرخ بازیافت پلاستیک در این منطقه به ۲۶٫۵ درصد رسیده و از نرخ دفن ۲۳٫۵ درصد، پیشی گرفته است. در مقابل، ایران علی‌رغم تصویب قوانین اولیه (مانند قانون مدیریت پسماند ۱۳۸۳)، با چالش‌های ساختاری جدی نظیر: ضعف در اجرای مؤثر سیاست‌ها، نبود زیرساخت‌های منسجم برای بازیافت، وابستگی گسترده به بخش غیررسمی و فقدان شفافیت در آمارهای رسمی مواجه است. این عوامل باعث شده‌اند که نرخ بازیافت پلاستیک در ایران کمتر از ۱۴ درصد باقی بماند و بیش از ۸۴ درصد پسماندهای پلاستیکی بدون جداسازی دفن شوند. این مطالعه نشان می‌دهد که گذار مؤثر به اقتصاد چرخشی در ایران مستلزم اصلاحات اساسی نظیر اجرای قانون، رفع قیمت گذاری دستوری، تقویت نهادهای نظارتی، استانداردسازی، شفاف‌سازی داده‌ها و فعال‌سازی مشارکت آگاهانه شهروندی، نه صرفاً احداث کارخانه‌های بازیافت است.

کلمات کلیدی: اقتصاد چرخشی، بازیافت پلاستیک، مدیریت پسماند شهری، اتحادیه اروپا.

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر، مدیریت پسماندهای پلاستیکی شهری به‌عنوان یکی از چالش‌های محوری توسعه پایدار، در دستور کار سیاست‌گذاران جهانی قرار گرفته است [۱-۲]. این چالش در ایران با مصرف سالانه‌ی فزاینده‌ی بیش از ۵ میلیون تن پلاستیک و سیستم‌های ناکارآمد مدیریت پسماند، ابعاد بحرانی‌تری یافته است. مطالعات نشان می‌دهند که تنها ۵ درصد از پسماندهای پلاستیکی در ایران به‌صورت جداگانه جمع‌آوری و بازیافت می‌شوند و بیش از ۹۵ درصد آن بدون تفکیک، به دفن‌گاه‌ها منتقل می‌شود [۳]. در مقابل، اتحادیه اروپا با رویکردی سیستماتیک به اقتصاد چرخشی، در طول دو دهه‌ی گذشته، موفق شده است نرخ بازیافت پلاستیک را افزایش دهد هرچند حتی در اینجا نیز میان جمع‌آوری جداگانه و بازیافت با کیفیت شکاف قابل توجهی وجود دارد [۴]. به‌عنوان مثال، در اتریش تنها ۲۶ درصد از ۵۸ درصد پسماندهای جمع‌آوری‌شده، به‌صورت گرانول‌های بازیافتی در تولید مجدد بکار گرفته شده‌اند [۵]. این شکاف، تنها یک ضعف فنی نیست، بلکه بازتابی از عدم هماهنگی در بخش‌های کلیدی سیستم مدیریت پسماند است. تحلیل‌های اقتصادی-فناورانه در آلمان نشان می‌دهد که بازیافت مکانیکی تنها در صورت دسترسی به جریان‌های خالص ضایعات پلاستیک، از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی به‌صرفه است؛ در غیر این صورت، پسماندهای مخلوط به‌دلیل آلودگی، تنها از طریق فرآیندهای پایان‌چرخه‌ای مانند بازیابی انرژی یا پیرولیز با هزینه‌ی دو تا سه برابری قابل پردازش هستند [۶]. ایران، این چالش با وجود کارگاه‌های بازیافت غیراستاندارد، فقدان نظارت بهداشتی و عدم یکپارچگی زنجیره‌ی ارزش، دوچندان شده است [۷-۸].

از سوی دیگر، اتحادیه اروپا با تدوین چارچوب‌های نظارتی‌ای همچون برنامه اقدام اقتصاد چرخشی (CEAP) [۹] و دستورالعمل پلاستیک‌های یک‌بارمصرف (SUPD)، نه‌تنها اهداف کمی (مانند ۵۵ درصد بازیافت پلاستیک تا ۲۰۳۰)، بلکه الزامات کیفی (مانند ۳۰ درصد محتوای بازیافتی در بطری‌های PET) را نیز تعریف کرده است [۱۰]. این الزامات، مستقیماً بر الگوهای مصرف و طراحی محصول تأثیر می‌گذارند: بازنگری در طراحی بسته‌بندی می‌تواند اثرات زیست‌محیطی چرخه‌ی حیات پلاستیک را تا ۴۰ درصد کاهش دهد [۱۱]. در مقابل، در ایران، با وجود قانون ۲۰ ساله، مدیریت پسماند ۱۳۸۳ به‌ویژه ماده‌ی ۷ مربوط به مسئولیت تولیدکننده، تأثیر چندانی در زمینه بازیافت و جداسازی ضایعات پلاستیکی مشاهده نمی‌شود [۱۲]. ضمناً، چالش‌های ساختاری ایران تنها به بخش پس‌از مصرف محدود نمی‌شوند. دسته‌بندی پسماند شهری در ایران نشان می‌دهد که پلاستیک با سهم تقریباً ۷٫۵ درصد، دومین جزء اصلی ضایعات خشک پس از مواد فسادپذیر است [۳ و ۸]، اما عدم تفکیک از مبدأ و فقدان سیستم دسته‌بندی بر اساس نوع پلیمر، امکان پردازش هدفمند را از بین برده است. در حالی که در اروپا، ۳۰ تا ۵۰ درصد از پسماندهای دفن‌شده، پلاستیک هستند [۱۳]. این پسماندهای تاریخی به‌دلیل آلودگی، رطوبت بالا و کاهش کیفیت پلیمرها، امکان بازیافت مکانیکی در آن‌ها بسیار محدود است [۱۴]. در چنین شرایطی، معدن‌کاوی دفن‌گاه‌ها و پیرولیز/گازی‌سازی چندمرحله‌ای با کنترل دقیق دما به‌عنوان راهکارهای نوین پیشنهاد شده‌اند [۱۵].

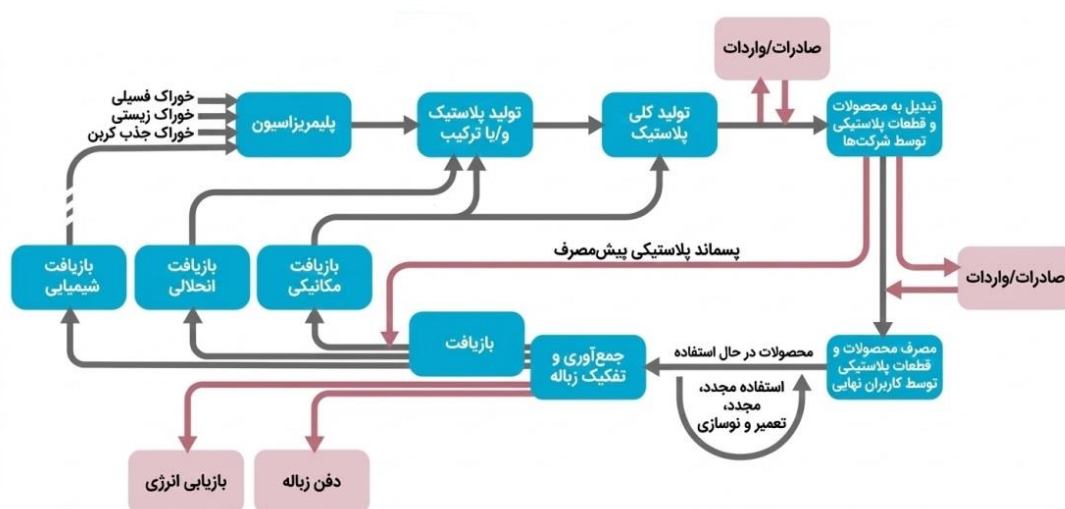
در مواجهه با این واقعیت‌ها، تحلیل‌های سیاستی نشان می‌دهند که موفقیت در اقتصاد چرخشی، صرفاً به کمیت پسماندهای جمع‌آوری‌شده وابسته نیست، بلکه به طراحی یک سیستم یکپارچه بستگی دارد که مؤلفه‌های کلیدی نظیر قوانین و مقررات، الگوهای مصرف، سرعت و کیفیت بازیافت، مدیریت پسماند، روش‌های فناورانه و دقت در دسته‌بندی و تفکیک ضایعات را به‌طور همزمان و تعاملی در بر گیرد. در این چارچوب، این پژوهش با هدف تحلیل سیستماتیک تجربه اتحادیه اروپا در این مؤلفه‌های کلیدی و استخراج درس‌های کاربردی برای شرایط ایران طراحی شده است. بنابراین در پژوهش یافتن پاسخی مناسب برای این سوال که چه راهکارهایی از تجربه اتحادیه اروپا می‌تواند در شرایط ایران برای بهبود مدیریت پسماندهای پلاستیکی شهری و تسریع گذار به اقتصاد چرخشی مؤثر باشد؟ دنبال می‌شود. پاسخ به این پرسش، نه‌تنها به بهبود عملکرد داخلی در حوزه مدیریت پسماند کمک می‌کند، بلکه در شرایط رو به تشدید پیمان جهانی پلاستیک (INC)، یک ضرورت استراتژیک برای جلوگیری از تحریم‌های محیط‌زیستی و حفظ جایگاه صنعت پتروشیمی ایران در بازارهای جهانی نیز محسوب می‌شود.

۲- اقتصاد چرخشی

اقتصاد چرخشی پلاستیک یک رویکرد سیستماتیک و چندلایه است که با هدف حذف زباله و آلودگی از ریشه، حفظ ارزش مواد در چرخه‌ی اقتصادی و بازگرداندن پلاستیک‌ها به عنوان ماده اولیه به سیستم تولید طراحی شده است [۱ و ۱۶]. برخلاف مدل خطی

سنتی برداشت-تولید-دورریختن، این مدل بر سه اصل بنیادی استوار است: طراحی آلاینده‌گی و زباله را از ابتدا حذف کند، محصولات و مواد را تا حد امکان در چرخه نگه دارد و سیستم‌های طبیعی را بازسازی کند [۵ و ۱۳].

در این چارچوب، اقتصاد چرخشی پلاستیک تنها به بازیافت مکانیکی محدود نمی‌شود، بلکه مجموعه‌ای از راهبردهای مکمل و پتانسیل محور را در نظر می‌گیرد که بسته به شرایط محلی از جمله نوع پلیمر، زیرساخت‌های موجود، سطح درآمد، قوانین نظارتی و ظرفیت فناوریانه می‌توانند بهینه‌ترین نقش را ایفا کنند [۱۷]. این راهبردها شامل بازیافت مکانیکی برای جریان‌های خالص پلیمری (مانند PET و HDPE)، بازیافت شیمیایی (مثل پیرولیز، گلیکولیز و هیدروژنولیز) [۶] برای پسماندهای مخلوط یا آلوده، بازیابی انرژی کنترل شده در کارخانه‌های زباله‌سوزی مجهز یا صنایع سنگین (مانند فولاد و سیمان) [۱۸]، استفاده مجدد و طراحی برای طول عمر و مواد زیستی یا زیست‌تخریب‌پذیر در کاربردهای خاص، است [۹ و ۱۹]. همچنین، مفهوم اقتصاد چرخشی، فراتر از فناوری و مدیریت پسماند است و دامنه‌ی آن تمامی مراحل زنجیره‌ی ارزش پلاستیک از طراحی اولیه و تولید تا مصرف و پس‌ازمصرف را دربرمی‌گیرد. در نهایت، اقتصاد چرخشی پلاستیک یک چرخه بسته‌ی جامع و پویا است که در آن منابع اولیه (فسیلی، زیستی یا کربن جذب‌شده) پس از گذر از مراحل تولید و مصرف، از طریق مسیرهای متنوعی بسته به کیفیت، قابلیت فنی و اولویت‌های زیست‌محیطی مجدداً به سیستم بازمی‌گردند [۲۰]. شماتیکی از اقتصاد چرخشی تولید پلاستیک در شکل ۱ مشاهده می‌شود [۲۱]. این رویکرد، با اجتناب از راه‌حل‌های یک‌شکل و تمرکز بر بهینه‌سازی سیستماتیک، تعادلی پایدار میان کارایی منابع، سلامت انسان و محیط‌زیست و امکان‌سنجی فنی-اقتصادی ایجاد می‌کند [۲۲].



شکل ۱- شماتیکی از اقتصاد چرخشی پلاستیک‌ها [۲۱-۲۲]

بنابراین، در اقتصاد چرخشی پلاستیک، زمانی که ضایعات پلاستیکی غیرقابل جداسازی و تفکیک در دسترس باشد، روش بازیابی انرژی از طریق واحدهای زباله‌سوز پیشرفته می‌تواند گزینه‌ای مناسب در مقابل دفن به حساب آید [۱۸ و ۲۳]. هرچند این روش، در صورت اجرای غیراصولی و بدون رعایت استانداردهای زیست‌محیطی، می‌تواند منجر به انتشار آلاینده‌های خطرناکی شود، اما در شرایطی که از فناوری‌های کنترل آلاینده و بازیابی گرما به‌درستی استفاده شود، مزایای چندگانه‌ای در مقایسه با دفن زباله دارد؛ از جمله کاهش حجم زباله تا بیش از ۹۰ درصد، تولید انرژی قابل‌استفاده (برق یا بخار)، کاهش نیاز به فضاهای دفن به‌ویژه در مناطق شهری پرجمعیت، جلوگیری از تولید گازهای گلخانه‌ای ناشی از تجزیه بی‌هوازی در دفن‌گاه‌ها (مانند متان) و جلوگیری از نشت شیرابه‌های آلوده به خاک و منابع آب زیرزمینی [۲۴]. از این رو، در چارچوب اقتصاد چرخشی و با در نظر گرفتن موازنه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و فنی، بازیابی انرژی می‌تواند به‌عنوان یک گزینه مکمل و هوشمند در آخرین حلقه زنجیره مدیریت پلاستیک‌های غیرقابل بازیافت عمل کند [۲۵].

فراتر از فناوری‌ها و عملیات مشخص، اقتصاد چرخشی در صنعت پلاستیک اساساً یک تغییر پارادایم و یک رویکرد نظام‌مند است. تحقق این تحول منحصراً نیازمند بستری از چارچوب‌های سیاستی منسجم، قوانین حمایتی و انگیزه‌بخش و همکاری همه‌جانبه ذی‌نفعان

است. این امر مستلزم تعهد بلندمدت سیاسی، سرمایه‌گذاری در نوآوری و تحقیق و توسعه، طراحی محصولات با قابلیت چرخش‌پذیری بالاتر و همچنین مشارکت مؤثر بخش خصوصی و جامعه مدنی از طریق فرهنگ‌سازی است. بدون این پشتیبانی‌های کلان، حتی با وجود فناوری‌های پیشرفته، ایجاد یک چرخه بسته و پایدار برای پلاستیک‌ها میسر نخواهد شد. برای درک و اجرای عملی این رویکرد، بررسی یک الگوی موفق و باسابقه ضروری است و اتحادیه اروپا به عنوان پیشگام جهانی با یکی از جامع‌ترین و ساختاریافته‌ترین تجربیات، که تدوین و اجرای اولین قوانین کلان اقتصاد چرخشی را آغاز کرده، برجسته است [۱۳ و ۲۶].

۳- نتایج و بحث

به‌منظور یافتن راهکارهای کاربردی و واقع‌بینانه برای گذار مؤثر به اقتصاد چرخشی در مدیریت پسماندهای پلاستیکی شهری، عملکرد اتحادیه اروپا و ایران به‌صورت تطبیقی و مبتنی بر شواهد تحلیل می‌شود. این مقایسه، با استناد به داده‌های کمی و کیفی معتبر، فراتر از سنجش صرف نرخ بازیافت حرکت کرده و به بررسی ساختارهای نهادی، زیرساخت‌های فنی، اولویت‌های سیاستی و موانع اجرایی در هر دو سیستم می‌پردازد.

۳-۱- اتحادیه اروپا

۳-۱-۱- قوانین و مقررات

اتحادیه اروپا به‌عنوان پیشگام جهانی در گذار به اقتصاد چرخشی، چارچوب قانونی خود را طی چندین دهه از رویکرد پایان‌چرخه‌ای به سمت مدیریت سیستمی در طول کل زنجیره‌ی ارزش پلاستیک تکامل داده است. این تحول، از دستورالعمل‌های پایه‌ای دهه ۱۹۷۰ مانند دستورالعمل چارچوب پسماند (۷۵/۴۴۲/EEC) [۲۷] آغاز شد و با تصویب دستورالعمل بسته‌بندی و پسماند بسته‌بندی (EC/۶۲/۹۴) [۲۸] در سال ۱۹۹۴، برای اولین بار اصل مسئولیت گسترده‌ی تولیدکننده (EPR) را به‌عنوان یک ابزار سیاستی رسمیت بخشید. اما نقطه عطف واقعی در سال ۲۰۱۵ رخ داد، زمانی که بسته اقتصاد چرخشی با اهداف بلندمدتی برای بازیافت شهری و بسته‌بندی تصویب شد [۲۹]. این بسته شامل دستورالعمل‌های بازنگری‌شده در مدیریت پسماند شهری و بسته‌بندی بود و اهداف بلندمدتی مانند رسیدن به نرخ بازیافت ۶۵ درصد برای پسماند شهری و ۷۰ درصد برای پسماند بسته‌بندی تا سال ۲۰۳۰ را تعیین کرد [۳۰].

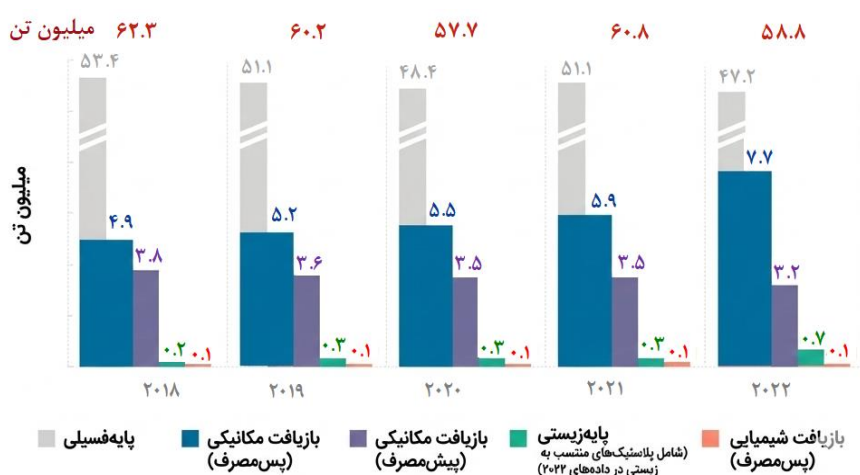
این مسیر در سال ۲۰۱۸ با انتشار استراتژی اروپا برای پلاستیک در اقتصاد چرخشی به اوج خود رسید [۳۱]. این سند هدف تعیین کرد که تا سال ۲۰۳۰ تمام بسته‌بندی‌های پلاستیکی عرضه‌شده در بازار اتحادیه اروپا قابل استفاده مجدد یا به‌صورت اقتصادی قابل بازیافت باشند و همچنین سه هدف کمی کلیدی را مطرح نمود: اول، داشتن حداقل ۳۰ درصد محتوای بازیافتی در تمام بطری‌های پلاستیکی تا سال ۲۰۳۰؛ دوم، کاهش ۲۵ درصدی مصرف کیسه‌های پلاستیکی یک‌بارمصرف در مقایسه با سال ۲۰۱۰ و سوم، ممنوعیت عرضه محصولات پلاستیکی یک‌بارمصرفی مانند نی، چنگال، بشقاب و چسب‌های چوب‌پنبه‌ای که بعدها در دستورالعمل پلاستیک‌های یک‌بارمصرف (۲۰۱۹) رسماً تصویب و از سال ۲۰۲۱ در سراسر اتحادیه اروپا اجرا شد [۳۲]. این اهداف در سال ۲۰۱۹ از طریق دستورالعمل محصولات پلاستیکی یک‌بارمصرف، به‌صورت الزام‌آور درآمد و همزمان، الزاماتی برای برچسب‌گذاری شفاف (مثلاً درباره ترکیب مواد یا روش دورریز صحیح) و تقویت EPR اعمال شد [۳۲]. در این چارچوب، EPR دیگر صرفاً یک ابزار مالی نبود، بلکه ابزاری برای طراحی هوشمندتر شد: با اکو-مدولاسیون، تولیدکنندگانی که از پلیمرهای خالص، رنگ‌های روشن و ساختارهای تک‌لایه استفاده می‌کردند، هزینه‌های کمتری می‌پرداختند، درحالی‌که استفاده از مواد هالوژن‌دار یا بسته‌بندی‌های چندلایه، جریمه‌ی مالی همراه داشت [۱۱ و ۱۷]. همزمان، این چارچوب با ابزارهای عملیاتی نظیر سیستم‌های تأمین-بازگشت برای بطری‌های نوشیدنی که نرخ بازیابی را در کشورهایی مانند آلمان و سوئد به بیش از ۹۰ درصد رساند [۱۷]. از سال ۲۰۲۱، صادرات پسماندهای پلاستیکی به کشورهای غیرعضو OECD ممنوع شد. اخیراً هم در قوانین جدید، الزامات طراحی برای بازیافت به‌صورت فنی و اجباری درآمده است؛ مثلاً استفاده از بسته‌بندی‌های چندلایه‌ای که نمی‌توان لایه‌های آن را جدا کرد یا رنگ‌های سیاهی که دستگاه‌های تشخیص پلاستیک نمی‌توانند آنها را ببینند، ممنوع شده است [۹ و ۱۱].

با وجود پیشرفت‌های چشمگیر در چارچوب‌های قانونی اتحادیه اروپا، چالش شکاف اجرایی همچنان جدی است. بر اساس گزارشات، در سال ۲۰۲۲ تنها ۱۲ کشور از ۲۷ کشور عضو توانستند داده‌های شفاف و معتبری از نرخ واقعی بازیافت نه صرفاً جمع‌آوری ارائه

دهند [۳۳]. این امر نشان می‌دهد که هرچند سیاست‌های اروپا از نظر فنی جلوتر از بسیاری از مناطق جهان هستند، اما در عمل با موانعی مانند ضعف در هماهنگی بین نهادها، نبود ظرفیت کافی برای نظارت و عدم شفافیت در گزارش‌دهی مواجه‌اند. در واقع، سیستم قانونی اتحادیه اروپا یک مجموعه ساکن از مقررات نیست، بلکه یک اکوسیستم پویا است که با ترکیبی از EPR، اهداف کمی اجباری، ممنوعیت‌های هدفمند بر اقلام یک‌بار مصرف و الزامات طراحی محصول برای بازیافت، سعی دارد نه تنها پسماندها را مدیریت کند، بلکه ریشه الگوی مصرف خطی پلاستیک را هدف قرار دهد.

۳-۱-۲- مصرف پلاستیک

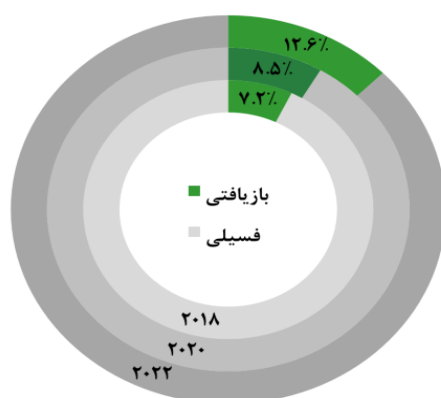
شکل ۲، روند تکامل تولید و مصرف پلاستیک در اروپا را طی سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۲ نشان می‌دهد [۴]. بر طبق نتایج، اروپا در گام اول در طی یک بازه ۴ ساله توانسته است مصرف پلاستیک خود را کاهش دهد به عبارت دیگر تولید کل پلاستیک با کاهشی ۵,۶ درصدی از ۶۲,۳ میلیون تن در ۲۰۱۸ به ۵۸,۸ میلیون تن در ۲۰۲۲ رسید. این کاهش در درجه اول ناشی از کاهش شدید ۱۱,۶ درصدی در تولید پلاستیک‌های مبتنی بر سوخت‌های فسیل است. با این حال، تولید پلاستیک‌های بازیافتی رشد قابل توجهی داشته و بیش از ۳۰,۳ درصد افزایش یافته است. در بخش تولید پلاستیک‌های بازیافتی، پلاستیک‌های بازیافتی مکانیکی (پس از مصرف) بیشترین رشد را با افزایش ۵۷,۱ درصدی داشته‌اند (از ۳,۸ میلیون تن به ۷,۷ میلیون تن). همچنین، پلاستیک‌های بازیافتی شیمیایی شاهد رشد چشمگیر ۳۰۰ درصدی بوده‌اند (البته از یک پایه بسیار کوچک، از ۰,۲ میلیون تن به ۰,۷ میلیون تن). این تغییر نشان‌دهنده یک گرایش فزاینده در صنعت پلاستیک اروپا به سمت منابع پایدارتر و بازیافت، به ویژه بازیافت مکانیکی پلاستیک‌های پس از مصرف، است.



شکل ۲- سرعت رشد بازیافت پسماندهای پلاستیک در اتحادیه اروپا در بازه سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۲ [۴]

۳-۱-۳- سرعت بازیافت

بر طبق نتایج موجود در **Error! Reference source not found.** سهم مواد بازیافتی در محصولات پلاستیکی جدید در اتحادیه اروپا، از ۷,۲ درصد (۴ میلیون تن) در سال ۲۰۱۸، به ۸,۵ درصد (۴,۶ میلیون تن) در سال ۲۰۲۰ و سپس به ۱۲,۶ درصد (۶,۸ میلیون تن) در سال ۲۰۲۲ رسیده است [۲۲]. این رشد تقریباً ۷۵ درصدی در یک بازه زمانی تنها چهار ساله، به وضوح اثربخشی رویکرد یکپارچه اتحادیه اروپا را که ترکیبی از الزامات قانونی مانند حداقل ۳۰ درصد محتوای بازیافتی در بطری‌های PET تا ۲۰۳۰، اهداف بلندپروازانه مانند ۵۵ درصد بازیافت بسته‌بندی تا ۲۰۳۰ و مشوق‌های بازاری برای خریداران صنعتی است [۳۱].



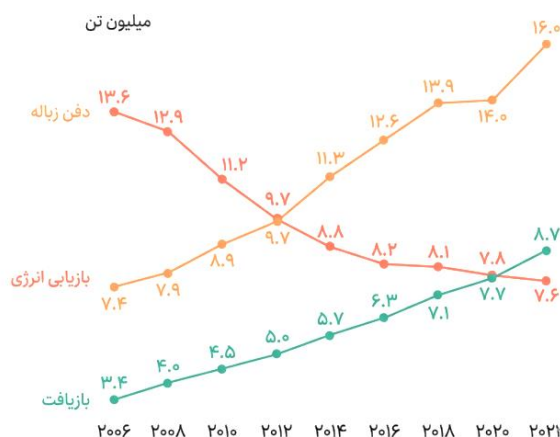
شکل ۳- سرعت رشد بازیافت پسماندهای پلاستیک در اتحادیه اروپا در بازه سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۲ [۲۲]

با این وجود، بخش قابل توجهی از این مواد، به دلیل محدودیت‌های داخلی (کمبود زیرساخت، آلودگی جریان‌ها) یا وابستگی تاریخی به صادرات، همچنان از بازار اتحادیه خارج می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که حتی در سناریوی حداکثر پتانسیل، تنها ۴۰ تا ۵۰ درصد از پلاستیک‌های بازیافتی در داخل اتحادیه اروپا مصرف خواهد شد و بقیه به کشورهای ثالث صادر می‌شوند گاهی بدون نظارت کافی بر شرایط محیط‌زیستی مقصد، از نظر اثرات زیست‌محیطی، تحلیل‌های سناریویی بینش‌های استراتژیکی ارائه می‌دهند [۳۴]: دستیابی به ۷۰ درصد بازیافت همراه با ۹۰ درصد بازیافت حلقه‌بسته تا سال ۲۰۳۰، می‌تواند ۱۴ تا ۲۲ مگاتن CO₂ در سال کاهش ایجاد کند که معادل ۲۰-۳۰ درصد از کل اثرات بخش بسته‌بندی پلاستیکی در سال ۲۰۱۸ است. جالب‌تر اینکه، کاهش مصرف از طریق کاهش ضخامت بسته‌بندی، خود به تنهایی می‌تواند ۷ مگاتن CO₂ کاهش دهد رقمی حداکثر هم‌ارز با اثر دستیابی به هدف ۵۵ درصد بازیافت.

این یافته نشان می‌دهد که سرعت بازیافت تنها به میزان پسماند جمع‌آوری شده بستگی ندارد، بلکه به یک مثلث تعادلی از سه رکن کیفیت جریان پسماند (که مستلزم تفکیک از مبدأ و طراحی برای بازیافت است)، پایداری فناوری‌های پردازش (بازیافت مکانیکی با ۵۰-۷۰ درصد کاهش اثر گلخانه‌ای نسبت به شیمیایی [۶] و وجود بازار تقاضا برای مواد بازیافتی با کیفیت غذایی، وابسته است: در غیاب هر یک از این سه عنصر، سرعت بازیافت به عددی فریبنده تبدیل می‌شود که تصویری نامطلوب‌تر از واقعیت ارائه می‌دهد. به عنوان مثال در مطالعه‌ی اتریش ۵۸ درصد جمع‌آوری جداگانه، اما تنها ۲۶ درصد بازیافت واقعی پلاستیک گزارش شده است [۵]. بنابراین، سرعت بازیافت در اروپا نه یک معیار خطی، بلکه شاخص پیچیده از سلامت سیستم اقتصاد چرخشی است که تنها زمانی معنادار می‌شود که در کنار کیفیت، پایداری و بسته‌بودن حلقه نیز سنجیده شود.

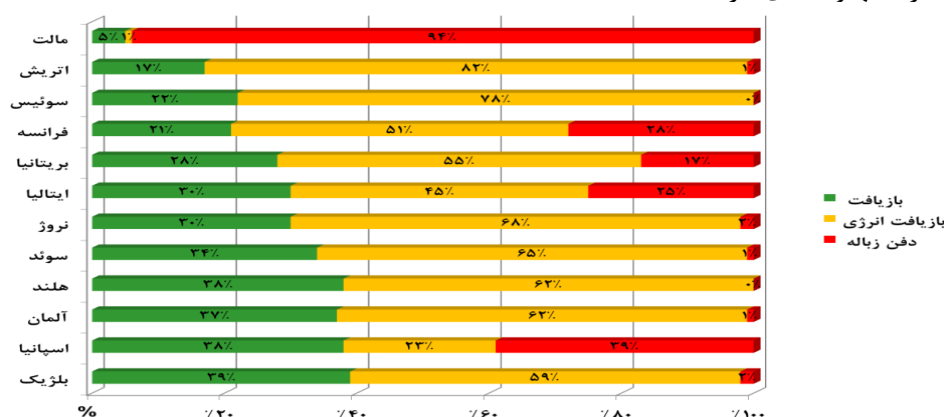
۳-۱-۴- مدیریت پسماند پلاستیکی

مدیریت پسماند پلاستیکی پس از مصرف در اتحادیه اروپا در دهه‌ی اخیر شاهد تحول ساختاری بوده است؛ اما این تحول همراه با چالش‌های عمیقی درباره کیفیت گردش مواد و توزیع ناعادلانه عملکرد بین کشورهای عضو است. طبق داده‌های رسمی [۴]، حجم کل پسماند پلاستیکی پس از مصرف در ۲۷ کشور عضو، نروژ و سوئیس از ۲۴.۴ میلیون تن در سال ۲۰۰۶ به ۳۲.۳ میلیون تن در سال ۲۰۲۲ افزایش یافته (شکل ۴) و در همین دوره، الگوی تصفیه این پسماند تغییر چشمگیری کرده است. دفن زباله به طور مداوم و شدید از ۱۳.۶ میلیون تن در ۲۰۰۶ به پایین‌ترین میزان خود یعنی ۷.۶ میلیون تن در ۲۰۲۲ کاهش یافته است که نشان‌دهنده اولویت‌بندی راهبردهای پایدارتر است. در مقابل، بازیافت روندی صعودی را از ۳.۴ میلیون تن به ۸.۷ میلیون تن در سال ۲۰۲۲ طی کرده و حتی برای اولین بار از سال ۲۰۰۶، از میزان دفن زباله پیشی گرفته است. بازیابی انرژی نیز با شیب بیشتری افزایش یافته و به روش غالب تبدیل شده است؛ این روش از ۷.۴ میلیون تن در ۲۰۰۶ به بالاترین میزان ثبت شده یعنی ۱۶.۰ میلیون تن در ۲۰۲۲ رسیده است.



شکل ۴- تکامل روش‌های مدیریت پسماند پلاستیکی پس از مصرف در اتحادیه اروپا در دهه‌های اخیر [۴]

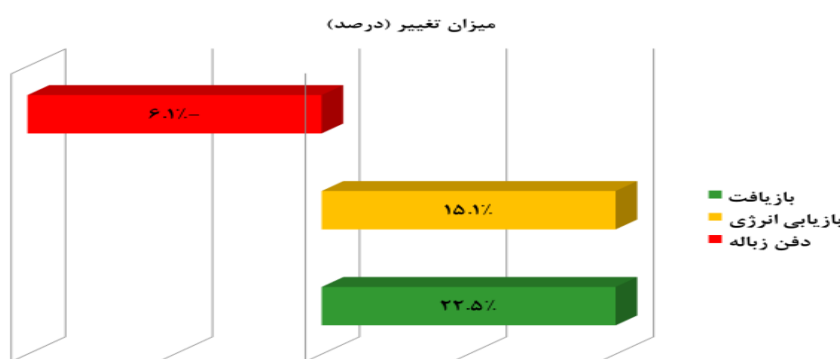
این تحول نشان می‌دهد که کشورهای اروپایی به‌طور فزاینده‌ای از دفن زیاله، نامطلوب‌ترین گزینه از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی فاصله گرفته‌اند، اما در عین حال بازیابی انرژی را به‌عنوان راه‌حل اصلی برای مدیریت حجم بالای پسماند انتخاب کرده‌اند. این امر، علی‌رغم کاهش فشار بر فضاهای دفن، ناشی از شکست در ایجاد جریان‌های بازیافتی کارآمد است [۱۸ و ۲۳]، زیرا بازیابی انرژی، هرچند در سیستم‌های کنترل‌شده با کاهش ۵۰-۷۰ درصد اثر گلخانه‌ای نسبت به دفن همراه است [۶]، اما ارزش مادی پلاستیک را به‌طور کامل از دست می‌دهد و پسماند را از چرخه اقتصادی خارج می‌کند. این تصویر کلان گمراه‌کننده است، چرا که عملکرد کشورهای عضو به‌شدت ناهمگون است. تحلیل ۱۳ شاخص رسمی اقتصاد چرخشی کمیسیون اروپا در بازه‌ی ۲۰۱۰-۲۰۱۸ نشان می‌دهد [۲۶] که کشورهای اتحادیه اروپا به دو خوشه‌ی متمایز گروه پیشرو (آلمان، بلژیک، فرانسه، اسپانیا، ایتالیا، هلند و بریتانیا) با میانگین ۴۶ درصد نرخ استفاده چرخشی از مواد و سرمایه‌گذاری خصوصی قابل توجه در بخش اقتصاد چرخشی (۰.۳۵ واحد شاخص) و و گروه کند (شامل رومانی، بلغارستان، مالت و کرواسی) با ۱۳ درصد نرخ استفاده چرخشی از مواد و سرمایه‌گذاری کمتر از ۰.۰۳ واحد، تقسیم می‌شوند. بنابراین نباید از همه کشورهای عضو اتحادیه اروپا انتظار یکسان در مدیریت پسماندهای پلاستیکی داشت و بوضوح عملکرد مدیریت پسماند در این اروپای دوسرعه در سال ۲۰۲۲ نیز آشکار است (شکل ۵). تنها ۴ کشور (بلژیک با ۳۹ درصد، اسپانیا، هلند و آلمان) نرخ بازیافت پلاستیک پس از مصرف بالاتر از ۳۵ درصد دارند، درحالی‌که ۱۶ کشور نرخ بازیافت کمتر از ۲۵ درصد گزارش کرده‌اند. در انتهای طیف، مالت با تنها ۵ درصد بازیافت و ۹۴ درصد دفن، همچنان به این روش نامطلوب وابسته است. در مقابل، کشورهایی مانند اتریش (۸۲ درصد بازیابی انرژی، ۱۷ درصد بازیافت، ۱ درصد دفن) و یونان (۷۸ درصد بازیابی انرژی، ۲۰ درصد بازیافت، ۱ درصد دفن) را تقریباً حذف کرده‌اند، اما بازیافت را نادیده گرفته‌اند [۱۹]. این داده‌ها تأکید می‌کنند که با وجود پیشرفت کلی در سطح اتحادیه اروپا، یکنواختی قابل توجهی در عملکرد بازیافت بین کشورهای مختلف وجود ندارد و بسیاری از کشورها همچنان برای دستیابی به اهداف بازیافت نیاز به بهبود جدی دارند.



شکل ۵- عملکرد کشورهای مختلف اتحادیه اروپا در روش‌های مدیریت پسماند پلاستیکی پس از مصرف در سال ۲۰۲۲ [۴]

این تنوع نشان می‌دهد که بازیابی انرژی نه یک پیروزی در مسیر اقتصاد چرخشی، بلکه یک جایگزین در صورت عدم دسترسی به فناوری‌های بازیافت پیشرفته است. تحلیل اقتصادی-فناورانه در آلمان تأکید می‌کند [۶] که بازیافت مکانیکی با هزینه ۰,۳۵-۰,۲۶ یورو/کیلوگرم از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی (۵۰-۷۰ درصد کاهش اثر گلخانه‌ای نسبت به بازیافت شیمیایی) بهترین گزینه است، اما تنها برای جریان‌های خالص و بدون آلودگی امکان‌پذیر است. در شرایطی که پسماند مخلوط یا آلوده است (که بخش عمده‌ای از جریان پسماند اروپا را تشکیل می‌دهد)، فرآیندهایی مانند پیرولیز با هزینه ۰,۶۵-۰,۹۰ یورو/کیلوگرم تنها راه‌حلی برای جلوگیری از دفن است، هرچند هنوز از نظر اقتصادی پایدار نیست [۶].

در نهایت، آمارهای اتحادیه اروپا در این زمینه در شکل ۶ نشان می‌دهند که حجم پسماند پلاستیکی ارسالی برای بازیابی انرژی از سال ۲۰۱۸ بیش از ۱۵ درصد افزایش یافته و علیرغم کاهش نسبی، دفن زباله همچنان نزدیک به ۲۵ درصد از مدیریت پسماند را در سال ۲۰۲۲ به خود اختصاص داده است [۲۲]. از سوی دیگر، دفن پسماندهای پلاستیکی پس از مصرف روند کاهشی خود را حفظ کرده است و از سال ۲۰۱۸ تا سال ۲۰۲۲، ۶ درصد کاهش داشته است. اگرچه این حرکت در مسیر درستی است، اما با این وجود، دفن زباله در سال ۲۰۲۲ همچنان نزدیک به ۲۵ درصد از مدیریت پسماندهای پلاستیکی را به خود اختصاص داده است. بر اساس اصلحیه دستورالعمل پسماند اتحادیه اروپا (۸۵۱/۲۰۱۸)، کشورهای عضو موظفند دفن پسماندهایی که به صورت جداگانه جمع‌آوری شده‌اند (مانند پلاستیک، کاغذ و فلز) را تا سال ۲۰۳۰ متوقف و حداکثر ۱۰ درصد از پسماندهای شهری را تا سال ۲۰۳۵ دفن کنند [۳۵]. چرا که این اقدام با سلسله مراتب پسماند و اصول اقتصاد چرخشی در تناقض است. به عبارت دیگر، این ارقام واقعی را منعکس می‌کنند که برخی از پسماند پلاستیکی به دلیل ماهیت پیچیده یا آلودگی بالا، امکان بازیافت ندارند و در این شرایط خاص، فرآیند بازیابی انرژی پیشرفته می‌تواند به عنوان بهترین راه برای مدیریت ایمن و بازیابی انرژی نهفته در آن دسته از پسماندهای غیرقابل بازیافت، از دفن شدن آن‌ها جلوگیری کند.

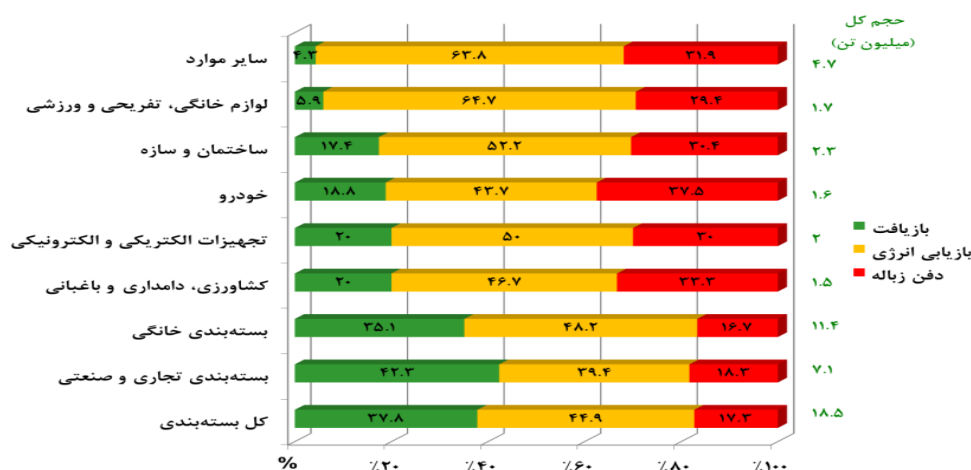


شکل ۶- عملکرد اتحادیه اروپا در بازه سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۲ در مدیریت پسماند پلاستیکی [۲۲]

۳-۱-۵- دسته بندی ضایعات پلاستیکی

مدیریت مؤثر پسماندهای پلاستیکی شهری در اتحادیه اروپا بدون دسته‌بندی دقیق بر اساس منشأ مصرف و نوع پلیمر اساساً غیرممکن است. این ضرورت از آنجا ناشی می‌شود که پلاستیک‌ها خانواده‌ای گسترده و ناهمگون از پلیمرها هستند که از نظر ساختار شیمیایی، خواص فیزیکی، کاربردهای نهایی، مقاومت حرارتی، قابلیت بازیافت و حتی تأثیرات زیست‌محیطی تفاوت‌های بنیادین دارند به عنوان مثال، پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) در بسته‌بندی نوشیدنی‌ها کاربرد دارد و بازیافت آن از نظر فنی و اقتصادی کاملاً متفاوت از پلی‌وینیل کلراید (PVC) در لوله‌های ساختمانی یا پلی‌استایرن (PS) در قطعات الکترونیکی است [۱۴ و ۳۶]. هر یک از این پلیمرها حتی در صورت جمع‌آوری هم‌زمان مستلزم زیرساخت‌های جداگانه برای تفکیک، پردازش و بازیابی است. در این چارچوب، سیستم‌های مدیریت پسماند اروپایی ضایعات پلاستیکی را به‌طور عملیاتی به چهار بخش اصلی بسته‌بندی، ساخت‌وساز، خودرو و وسایل نقلیه و تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی تقسیم می‌کنند [۱۹]. این دسته‌بندی نه تنها از نظر فنی ضروری، بلکه پایه‌ی سیاست‌گذاری و گزارش‌دهی اتحادیه اروپا نیز محسوب می‌شود. بر اساس نتایج سال ۲۰۲۲ اتحادیه اروپا (شکل ۷) [۴]، نرخ بازیافت پلاستیک به‌طور چشمگیری بسته به منشأ ضایعات متفاوت است. بطوری که بیشترین حجم پسماند مطلق مربوط به بسته‌بندی است (۱۸,۵ میلیون تن) که نرخ‌های بازیافت آن (۳۵,۱ درصد برای خانگی تا ۴۲,۳ درصد برای تجاری و صنعتی) و همچنین بخش‌های کشاورزی و تجهیزات الکتریکی (هر دو ۲۰ درصد) در بالاترین میزان قرار دارند؛ این امر به دلیل وجود سامانه‌های جمع‌آوری مجزای کارآمد در این

بخش‌ها تأیید شده است. در مقابل، بخش‌هایی مانند لوازم خانگی، تفریحی و ورزشی (۵,۹ درصد) و سایر پسماندها (۴,۳ درصد) کمترین میزان بازیافت را به خود اختصاص داده‌اند. به طور کلی، بازیابی انرژی روش غالب در اکثر بخش‌ها محسوب می‌شود، به‌ویژه در بخش‌هایی با نرخ بازیافت پایین مانند لوازم خانگی (۶۴,۷ درصد). در نهایت، نرخ دفن زباله در بخش‌هایی مانند خودروسازی (۳۷,۵ درصد) و کشاورزی (۳۳,۳ درصد) به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از بخش پر حجم بسته‌بندی (حدود ۱۷ درصد) باقی مانده است، که نشان‌دهنده لزوم بهبود زیرساخت‌های بازیافت در بخش‌های غیر از بسته‌بندی است.

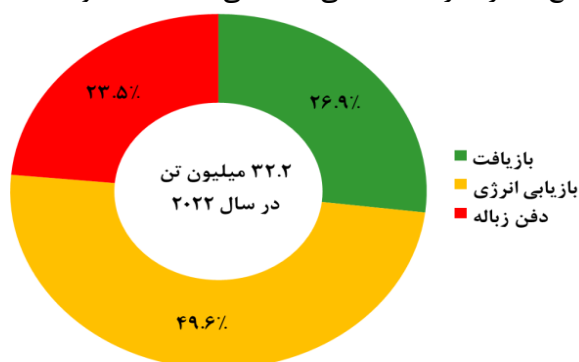


شکل ۷- سهم کاربردهای نهایی پلاستیک در روش‌های مدیریت پسماند پلاستیکی پس از مصرف اتحادیه اروپا در سال ۲۰۲۲ [۴]

این شواهد جمعی نشان می‌دهند که هرگونه سیاست عمومی برای افزایش نرخ بازیافت پلاستیک بدون تفکیک بخشی و درک تفاوت‌های ساختاری بین جریان‌های پسماند، محکوم به شکست است. بنابراین، دسته‌بندی علمی و عملیاتی ضایعات پلاستیکی تنها یک مرحله فنی نیست، بلکه پایه‌ای استراتژیک برای طراحی زنجیره‌های ارزش پایدار، سرمایه‌گذاری هدفمند در فناوری‌های تفکیک و تدوین سیاست‌های واقع‌بینانه در راستای اقتصاد چرخشی است.

۳-۱-۶- تفکیک و جداسازی

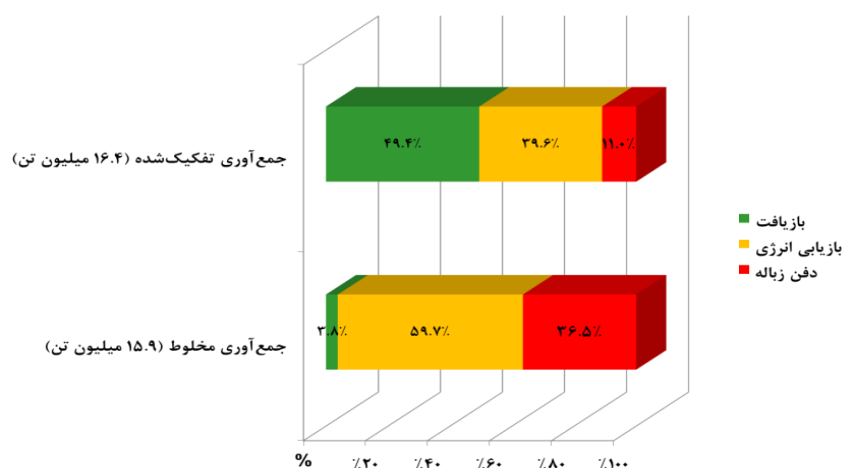
بر اساس داده‌های رسمی اتحادیه اروپا در سال ۲۰۲۲ (شکل ۸)، مجموع پسماند پلاستیکی پس از مصرف در ۲۷ کشور عضو، نروژ و سوئیس، به ۳۲,۳ میلیون تن رسیده است [۱۹]. از این مقدار، تنها ۲۶,۹ درصد بازیافت شده، درحالی‌که ۴۹,۶ درصد از طریق بازیابی انرژی (عمدتاً سوزاندن در کارخانه‌های زباله‌سوزی یا صنایع سیمان) مدیریت شده و ۲۳,۵ درصد همچنان در دفن‌گاه‌ها دفع می‌شود [۱۹]. این توزیع، با وجود تلاش‌های چندین‌ساله برای گذار به اقتصاد چرخشی، نشان‌دهنده شکاف چشمگیری بین اهداف سیاستی و واقعیت عملیاتی است: بازیابی انرژی، هرچند از دفن بهتر است، اما ارزش مادی پلاستیک را به‌طور کامل از دست می‌دهد و دفن پسماند، علاوه بر آتلاف منابع، خطرات زیست‌محیطی بلندمدتی مانند نشت مواد شیمیایی و تولید میکروپلاستیک ایجاد می‌کند.



شکل ۸- مدیریت پسماند پلاستیکی اتحادیه اروپا در سال ۲۰۲۲ [۲۲]

این ضعف ریشه در کیفیت پایین جریان‌های پسماند ورودی به سیستم بازیافت دارد. طبق مطالعه‌ای میدانی در آلمان، تنها ۶۳ درصد از پسماندهای بسته‌بندی سبک وارد فرآیند بازیافت مکانیکی می‌شوند [۹] از این مقدار، ۵۲ درصد فرآیند تفکیک را موفقیت‌آمیز پشت سر می‌گذارند، اما در نهایت تنها ۳۰ درصد به‌عنوان ری‌گرانول با کیفیت غذایی قابل استفاده در تولید مجدد درآمده‌اند. این شکاف عمیق عمدتاً ناشی از آلودگی‌های ساختاری در جریان پسماند است: وجود پلیمرهای نامتجانس، رنگ‌های تیره، چسب‌ها، برچسب‌های غیرقابل حذف و مواد افزودنی هالوژن‌دار (مانند برم یا کلر در مواد شعله‌ورکننده) که نه تنها کیفیت بازیافت را کاهش می‌دهند، بلکه در فرآیندهای حرارتی مانند پیرولیز، منجر به خوردگی تجهیزات و تولید آلاینده‌های ماندگار می‌شوند [۳۷].

نقش حیاتی تفکیک از مبدأ در این زنجیره، با مقایسه عملکرد دو سیستم جریان پسماند به‌وضوح آشکار می‌شود. بر طبق نتایج موجود در **Error! Reference source not found.** در سال ۲۰۲۲، از مجموع ۳۲،۳ میلیون تن پسماند، ۱۶،۴ میلیون تن از طریق جمع‌آوری جداگانه و ۱۵،۹ میلیون تن از طریق جمع‌آوری مخلوط در اروپا جمع‌آوری شده‌اند [۲۲]. با این حال، کارایی این دو جریان کاملاً متفاوت است؛ در جریان جمع‌آوری مخلوط، سهم بازیافت بسیار ناچیز و تنها ۳،۸ درصد است، در حالی که دفع غالب از طریق بازیافت انرژی ۵۹،۷ درصد و دفن زباله ۳۶،۵ درصد صورت گرفته است، این به این معناست که بخش بزرگی از پلاستیک‌های ارزشمند، که می‌توانستند دوباره به چرخه اقتصادی بازگردند، به دلیل آلودگی یا دشواری جداسازی از بقیه زباله‌ها، یا به طور دائم دفن و یا وارد سیستم بازیابی انرژی می‌شوند. در مقابل، جریان جمع‌آوری جداگانه کارایی بسیار بالاتری را نشان می‌دهد، به‌طوری که نزدیک به نیمی از پسماند یعنی ۴۹،۴ درصد آن بازیافت شده، ۳۹،۶ درصد به بازیافت انرژی رفته و سهم دفن زباله به شکل قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و تنها ۱۱،۰ درصد بوده است؛ این اختلاف فاحش، نقش حیاتی جداسازی در مبدأ را در موفقیت اقتصاد چرخشی پلاستیک تأیید می‌کند.



شکل ۹- مدیریت پسماند پلاستیکی اتحادیه اروپا تفکیکی در سال ۲۰۲۲ [۲۲]

این اختلاف بیش از ۱۲ برابری در نرخ بازیافت، گواهی محکم بر این است که بدون تفکیک از مبدأ، هیچ فناوری پیشرفته‌ای نمی‌تواند اقتصاد چرخشی را به حرکت درآورد. در واقع، حتی فناوری‌های نوین تشخیصی، که می‌توانند نرخ تفکیک پلیمرهای خالص به‌ویژه PET و PE را از سطح فعلی ۶۳ درصد به بیش از ۹۰ درصد افزایش دهند [۳۷]. تنها در صورت وجود جریان پسماند نسبتاً تمیز و از پیش دسته‌بندی‌شده مؤثر خواهند بود.

۳-۲-۳- ایران

متأسفانه در ایران، برخلاف بسیاری از کشورهای پیشرو در حوزه مدیریت پسماند، هیچ نهاد مرکزی یا مرجع معتبری مسئول جمع‌آوری، تدوین و انتشار داده‌های سیستماتیک و به‌روز در زمینه مدیریت پسماندهای پلاستیکی نیست. بررسی دقیق ادبیات موجود و گزارش‌های محلی-منطقه‌ای نشان می‌دهد که اطلاعات در این حوزه پراکنده، ناهمگون و اغلب مبتنی بر مطالعات موردی محدود است که تنها بخشی از واقعیت را منعکس می‌کنند. فقدان یک سازوکار ملی نظارتی، عدم استانداردسازی روش‌های نمونه‌برداری و

گزارش دهی و همچنین نبود یک پایگاه داده متمرکز، نه تنها دقت علمی تحلیل‌ها را زیر سؤال می‌برد، بلکه برنامه‌ریزی‌های سیاستی را نیز با چالش‌های جدی مواجه می‌سازد. این شکاف اطلاعاتی، درک جامع از حجم، ترکیب، الگوهای جمع‌آوری و نرخ‌های بازیافت پلاستیک را دشوار کرده و تدوین راهکارهای مؤثر و مبتنی بر شواهد را به چالشی اساسی تبدیل نموده است.

۳-۲-۱- قوانین و مقررات

قانون‌گذار ایرانی با تدوین قانون مدیریت پسماند (مصوب ۱۳۸۳) و آیین‌نامه اجرایی آن (مصوب ۱۳۸۴)، زیربنای لازم برای یک سیستم مدیریت پسماند مؤثر را فراهم کرده است، اما دلایل اصلی عدم اجرای کامل آن به شرح زیر خلاصه می‌شود:

- ضعف تمکین نهادهای مسئول (ماده ۷): قانون مدیریت پسماند (مصوب ۱۳۸۳) متولیان مدیریت پسماند را به‌طور شفاف تعیین کرده است؛ مسئولیت پسماندهای عادی بر عهده شهرداری‌ها و دهیاری‌ها و پسماندهای صنعتی و ویژه بر عهده تولیدکنندگان است. با این حال، شواهد نشان می‌دهد که در عمل، شهرداری‌ها و تولیدکنندگان به این وظایف قانونی تمکین نمی‌کنند و فقدان یک نیروی بازدارنده قاطع و مؤثر، باعث شده است تا این قانون به درستی اجرا نشود و پتانسیل‌های آن محقق نگردد.
- منسوخ شدن قدرت بازدارندگی مجازات‌ها: ماده ۱۶ قانون، اقدامات زیان‌بار مانند تخلیه پسماند در محیط و بازیابی انرژی در فضای آزاد را ممنوع کرده و برای آن‌ها مجازات نقدی تعیین کرده است. اما به دلیل تورم و کاهش شدید ارزش پول ملی در طول بیش از ۲۰ سال (از سال ۱۳۸۳)، مبالغ جرایم (حداکثر ۱۰۰ میلیون ریال) قدرت بازدارندگی خود را کاملاً از دست داده و دیگر هیچ عامل بازدارنده‌ای محسوب نمی‌شوند. این امر باعث شده است که دفع غیرقانونی پسماند، علیرغم وجود قانون، همچنان برای متخلفان مقرون به صرفه‌تر از رعایت روش‌های صحیح و پرهزینه قانونی باشد.
- فلج شدن نظام تأمین مالی پایدار (ماده ۱۲ آیین‌نامه): آیین‌نامه اجرایی قانون، ضرورت ایجاد یک صندوق یا سازوکار مالی پایدار برای جمع‌آوری درآمدهای قانونی (مانند جرایم و عوارض) و حمایت از پروژه‌های بازیافت و مدیریت پسماند را تکلیف کرده بود. این صندوق همچنین می‌بایست نیم در هزار (۰,۰۵ درصد) از ارزش فروش یا واردات محصولات پلیمری و لاستیکی را جمع‌آوری می‌کرد. با این وجود، عدم تشکیل یا عدم فعالیت مؤثر این صندوق، یک ضعف حیاتی در نظام مدیریت پسماند ایجاد کرده و منجر به نبود منابع مالی قدرتمند برای سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های تفکیک و پردازش پسماند شده است.
- مقاومت ذینفعان و ضعف نظارتی: علاوه بر ضعف‌های قانونی و مالی، مقاومت ذینفعان و منافع پنهان نقش اصلی را در عدم اجرای کامل قانون ایفا می‌کنند. در کنار این مقاومت، عواملی نظیر نبود بودجه کافی، کمبود نیروی متخصص، عدم هماهنگی بین بخشی و مهم‌تر از همه، ضعف در نظارت و اعمال قاطعانه قانون، باعث شده است که بستر اجرای قانون که در کشور شдنی است، محقق نشود. برای عبور از این وضعیت، اراده سیاسی جدی، سرمایه‌گذاری هدفمند و به‌روزرسانی مجازات‌ها ضروری است.

۳-۲-۲- مصرف پلاستیک

ایران به دلیل داشتن ذخایر عظیم نفت و گاز، از صنعت پتروشیمی گسترده برخوردار است و به‌عنوان یکی از بازیگران اصلی تولید مواد اولیه پلیمری در سطح منطقه و جهان شناخته می‌شود. این توان تولید بالا در پلاستیک‌های بکر، مجموعاً به بیش از ۹ میلیون تن ظرفیت تولید و ۵,۷۵ میلیون تن مصرف داخلی در سال ۱۴۰۲ می‌رسد (بورس کالا). نکته قابل توجه این است که برآورد دقیق مصرف نهایی پلاستیک در کشور با چالش مواجه است، زیرا هیچ ارگان واحدی، اطلاعات جامعی در این خصوص ندارد. این امر به‌ویژه به دلیل این واقعیت است که بخشی از پلاستیک‌های تولید یا تأمین شده در داخل، به‌صورت غیرمستقیم و از طریق بسته‌بندی سایر مواد یا در قالب کامپاندینگ، صادر می‌شوند و از چرخه مصرف داخلی خارج می‌گردند. در نهایت، می‌توان گفت، سالانه نزدیک به ۵ میلیون تن پلاستیک در کشور مصرف می‌شود.

۳-۲-۳- سرعت بازیافت

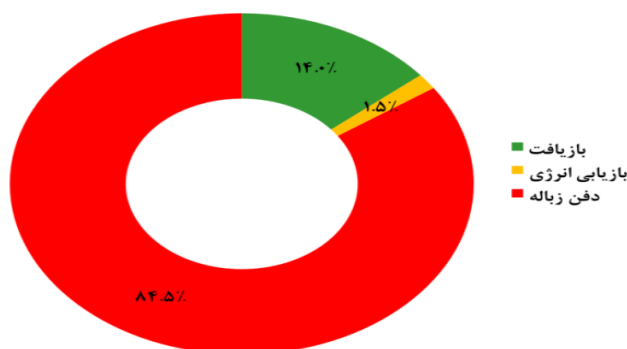
در حوزه ظرفیت بازیافت پلاستیک، ایران با یک ابهام آماری جدی و پیچیدگی مضاعف روبروست، چرا که هیچ اطلاعات دقیق و جامعی از ظرفیت‌های واقعی بازیافت در کشور در دسترس نیست. با این حال، بر اساس آمارهای رسمی وزارت صنعت، معدن و تجارت (صمت)، تاکنون نزدیک به ۷۰۰ هزار تن پروانه بهره‌برداری برای بازیافت مکانیکی انواع پلاستیک صادر شده است. با وجود این رقم، همچنان آمار دقیق و به‌روزرسانی‌شده‌ای از میزان فعالیت واقعی یا استفاده از این ظرفیت‌ها در دسترس نیست و بسیاری از پروانه‌ها ممکن است فعال نباشند. پاپلی یزدی [۳۸] در مطالعه‌ای با عنوان ساماندهی صنایع بازیافت مواد زاید جامد در شهر مشهد، به این نتیجه رسید که بازیافت پسماندهای شهری عمدتاً توسط کارگاه‌های کوچک، غیرمجاز و غیراستاندارد انجام می‌شود که فاقد نظارت بهداشتی و زیست‌محیطی لازم هستند. این پژوهش بر لزوم ایجاد شهرک‌های تخصصی بازیافت، تفکیک از مبدأ و ساماندهی نهادهای به عنوان راهکارهای کلیدی تأکید دارد. با این حال، اقدامات محدودی در مسیر بهبود نرخ بازیافت شروع شده است. به عنوان مثال، در شهر سمنان، اجرای یک برنامه آموزشی دو ساله برای جداسازی در مبدأ منجر به افزایش نرخ بازیافت پلاستیک از ۱۳ درصد در سال اول به ۴۲ درصد در سال سوم شد. همزمان، یک کارخانه بازیافت پلاستیک با ظرفیت ۳۰ تن در روز در این شهر راه‌اندازی شد که سالانه از ورود ۱۰۵۰ تن پلاستیک به محیط‌زیست جلوگیری می‌کند [۳]. این موفقیت نشان می‌دهد که ترکیب آموزش عمومی و سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های بازیافت می‌تواند به‌طور چشمگیری نرخ بازیافت پلاستیک را افزایش دهد. در عین حال، چالش‌های ساختاری از جمله ضعف در اجرای قانون مدیریت پسماند (۱۳۸۳)، عدم تفکیک در منبع، فعالیت گسترده بخش غیررسمی و عدم وجود تسهیلات فنی مناسب، سرعت و ظرفیت بازیافت پلاستیک را در سطح ملی محدود کرده‌اند [۱۲].

۳-۲-۴- مدیریت پسماند پلاستیکی

اساس اطلاعات موجود، سیستم مدیریت پسماند پلاستیکی در ایران در حال حاضر حول سه روش اصلی بازیافت مکانیکی، بازیابی انرژی از طریق زباله‌سوزی و دفن به‌صورت کنترل‌شده یا باز، شکل گرفته است [۳]. با این وجود، توزیع کمی این روش‌ها نشان‌دهنده سیستمی غیرچرخشی و خطی است که هنوز از مدل برداشت-تولید-دورریختن خارج نشده است. بر اساس تحلیل آمارهای ملی و مطالعات میدانی در نُه استان کشور، تنها ۵ تا ۱۹ درصد از پسماندهای پلاستیکی در ایران بازیافت می‌شوند [۳]. این رقم در حالی گزارش شده که ظرفیت اسمی بازیافت کشور به‌طور رسمی حدود ۷۰۰ هزار تن در سال، معادل ۱۴ درصد از ۵ میلیون تن پلاستیک مصرفی سالانه، اعلام شده است. بعلاوه این مطالعه نشان می‌دهد که در استان‌های مورد مطالعه، بین ۷۴ تا ۸۴ درصد از پسماندهای پلاستیکی در محل‌های دفن بهداشتی دفن شده و ۷ تا ۱۴ درصد آن‌ها سوزانده می‌شوند [۳]. در مطالعه‌ای دیگر توسط ناظم و همکاران [۳۹] تحت عنوان ارزیابی اولویت‌ها و پتانسیل بازیافت پسماند شهری در شهرضا، ترکیب فیزیکی پسماند شهری مورد تحلیل قرار گرفت و نشان داده شد که پلاستیک با سهم ۷،۵۷ درصد، پس از مواد فسادپذیر، بیشترین سهم را در پسماندهای خشک دارد. این پژوهش بر لزوم تعیین اولویت‌های بازیافت بر اساس ترکیب مواد و ارزش اقتصادی تأکید کرد. در مطالعه دیگری نشان می‌دهد که ترکیب پسماند شهری ایران عمدتاً آلی (حدود ۷۰ درصد) است، اما سهم پلاستیک نیز با ۷،۸ درصد، یکی از اجزای کلیدی جریان پسماند را تشکیل می‌دهد [۴۰]. در مطالعه دیگری [۷] در شیراز، تنها ۸ درصد از پسماندهای شهری بازیافت می‌شود، که بخش قابل‌توجهی از آن را پلاستیک تشکیل می‌دهد. حدود ۴۰ تن پلاستیک در روز توسط بخش غیررسمی جمع‌آوری و فروخته می‌شود، اما این فعالیت‌ها بدون ثبت رسمی و با کیفیت پایین انجام می‌شوند. مدیریت پسماند در این شهر شامل ۷۸ درصد دفن و تنها ۸ درصد بازیافت است. سرعت جداسازی پلاستیک بسیار پایین است چون: (۱) آموزش شهروندان ناکافی است، (۲) ظرفیت فنی برای پردازش پلاستیک کافی نیست و (۳) سیستم‌های جمع‌آوری جداگانه به‌خوبی پیاده‌سازی نشده‌اند.

در مقابل، بازیابی انرژی با وجود سرمایه‌گذاری در واحدهای زباله‌سوز، سهم بسیار محدودی در مدیریت پلاستیک دارد. گزارش رسمی حاکی از آن است [۴۱] که تاکنون تنها ۲ واحد فعال با ظرفیت مجموع ۴۰۰ تن در روز در کشور به‌طور کامل بهره‌برداری شده‌اند (نارمک تهران و نوشهر، هر کدام ۲۰۰ تن/روز)، در حالی که واحدهای بزرگ‌تری مانند ساری (۴۵۰ تن/روز) و رشت (۶۰۰ تن/روز) هنوز به بهره‌برداری نرسیده‌اند. با توجه به اینکه پسماندهای شهری ایران به‌طور متوسط بین ۶۰ تا ۷۰ درصد مواد آلی دارند، رطوبت بالا کارایی سوزاندن را به‌شدت کاهش داده و از سوی دیگر، عدم جداسازی پیش از سوزاندن باعث آلودگی حرارتی و کاهش بازده انرژی می‌شود. محاسبات نشان می‌دهد که اگرچه سالانه حدود ۲۹۲ هزار تن پسماند (۸۰۰ تن در روز) در این واحدها سوزانده شود، اما با

فرض سهم ۷،۸ درصدی پلاستیک در پسماند، تنها حدود ۱،۳ درصد از کل پسماند پلاستیکی با این روش مدیریت می‌شود [۴۰]. سهم هر یک از روش‌های مدیریت پسماند پلاستیکی در شکل ۱۰ خلاصه شده است.



شکل ۱۰- مدیریت پسماند پلاستیکی در ایران [۳]

بر طبق نتایج، دفن همچنان غالب‌ترین روش مدیریت پسماند پلاستیکی در ایران باقی مانده است. داده‌های موجود نشان می‌دهند که بیش از ۸۵ درصد از پسماندهای پلاستیکی بدون هیچ‌گونه پردازش، در محل‌های دفن عمدتاً رها می‌شوند. این توزیع نابرابر در تقابل صریح با اصول اقتصاد چرخشی قرار دارد و بیانگر شکست سیستم در حفظ ارزش مواد است.

۳-۲-۵- تفکیک و جداسازی

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در ایران، سالانه بیش از ۱۸۰ میلیون تن پسماند جامد تولید می‌شود که تنها ۵ تا ۹ درصد از آن بازیافت می‌شود. از این میان، سهم پلاستیک حدود ۸ درصد است، که بیش از ۹۰ درصد آن بدون هیچ‌گونه جداسازی اولیه، به‌صورت مخلوط با سایر پسماندها دفن می‌گردد [۴۰]. این آمار نشان‌دهنده ضعف ساختاری در یکی از حلقه‌های کلیدی اقتصاد چرخشی یعنی تفکیک از مبدأ است. سرعت و کارایی جمع‌آوری پلاستیک در چنین شرایطی بسیار پایین است، زیرا سیستمی متمرکز و سازمان‌یافته برای جداسازی پسماند در سطح خانوار یا محل تولید وجود ندارد.

از سوی دیگر، ظرفیت فنی بازیافت نیز بسیار محدود است. در سطح کشور، تنها ۴۲ واحد بازیافت مواد فعالیت دارند که بیشتر آن‌ها به‌صورت عمومی عمل کرده و واحد تخصصی اختصاصی برای پردازش انواع پلاستیک فاقد گسترده‌ی لازم است [۴۰]. در نتیجه، سیستم تفکیک و جداسازی پسماندهای پلاستیکی هنوز در مراحل اولیه، پراکنده و ناهمگون توسعه یافته است. اگرچه در برخی شهرهای بزرگ مانند تهران، اصفهان و مشهد طرح‌های آزمایشی تفکیک از مبدأ اجرا شده است، اما این طرح‌ها با چالش‌هایی مانند پوشش جغرافیایی محدود، ناپایداری عملیاتی و ضعف در مشارکت عمومی مواجه هستند. در اکثر نقاط کشور، پسماندها بدون هیچ‌گونه جداسازی اولیه جمع‌آوری و مستقیماً به محل‌های دفن یا واحدهای بازیافت ارسال می‌شوند. این شیوه نه‌تنها کارایی فرآیندهای بازیافت را به‌شدت کاهش می‌دهد، بلکه هزینه‌های پردازش را به دلیل آلودگی بالا و نیاز به تفکیک دستی افزایش می‌دهد. علاوه بر آن، کمبود زیرساخت‌های مکانیزه در ایستگاه‌های انتقال یا مراکز بازیافت، عدم استانداردسازی در طراحی و کدگذاری انواع ظروف پلاستیکی و ضعف در آموزش عمومی شهروندان از جمله موانع عمده در مسیر توسعه یک زنجیره مؤثر تفکیک و جداسازی محسوب می‌شوند.

در این میان، شایان توجه است که هیچ آمار رسمی، یکپارچه و مداومی از سوی نهادهای دولتی درباره حجم، ترکیب و سرنوشت پسماندهای پلاستیکی در کشور وجود ندارد. این شکاف آماری، برنامه‌ریزی دقیق و ارزیابی سیاست‌ها را با چالش مواجه کرده است. با این حال، انگیزه اقتصادی در سال‌های اخیر به‌ویژه با افزایش قیمت دلار و ارزش ثانویه مواد بازیافتی زمینه‌ساز فعال‌شدن گسترده شبکه‌های غیررسمی جمع‌آوری و تفکیک شده است. امروزه، زباله‌گردها و مراکز خرید و فروش غیررسمی مواد بازیافتی، نقش اصلی را در جداسازی و هدایت ضایعات پلاستیکی به بازار ایفا می‌کنند. در این زمینه، سایت ایران ضایعات به‌عنوان یکی از مراجع برجسته در حوزه خرید و فروش مواد بازیافتی شناخته می‌شود. این سایت با ارائه دسته‌بندی دقیق از انواع پلاستیک‌های بازیافتی از جمله PET، LDPE، HDPE و PP نه‌تنها به‌عنوان بخشی از بازار آزاد مواد ثانویه عمل می‌کند، بلکه به‌صورت غیرمستقیم نقش آموزشی و استانداردسازی در سطح صنعت بازیافت را نیز ایفا می‌کند. وجود چنین پلتفرم‌ها و شبکه‌های غیررسمی، گواهی بر فعال بودن تقاضای

بازار و زنجیره اقتصادی بازیافت در ایران است. با این وجود، فقدان سیستم‌مندی، نظارت دولتی و یکپارچه‌سازی این شبکه‌ها با سیستم رسمی مدیریت پسماند، مانع از تبدیل این انگیزه به چرخه‌های بازیافت پایدار، مقیاس‌پذیر و قابل نظارت شده است.

۳-۳- مقایسه عملکرد: اتحادیه اروپا در مقابل ایران

یکی از چالش‌های اساسی در مدیریت پسماند پلاستیکی در ایران، عدم وجود یک نهاد متمرکز برای جمع‌آوری و تحلیل داده‌های معتبر است. در نتیجه، آمارهای موجود اغلب مبتنی بر مطالعات موردی یا تخمین‌های پراکنده هستند و قابلیت تعمیم در سطح ملی را ندارند. در چنین شرایطی، هرگونه برنامه‌ریزی جدی برای گذار به اقتصاد چرخشی بدون ایجاد یک سیستم ملی پایش پسماند پلاستیکی مبتنی بر روش‌های استاندارد جمع‌آوری، گزارش‌دهی و تحلیل داده محکوم به تکرار چرخه‌های ناکارآمد گذشته خواهد بود. جدول ۱ مقایسه‌ی عملکرد مدیریت پسماند پلاستیکی در ایران و اتحادیه اروپا را خلاصه کرده و شکاف عمیق میان این دو را آشکار می‌سازد. در حالی که نرخ بازیافت در اتحادیه اروپا به ۲۶٫۹ درصد رسیده است، این رقم در ایران کمتر از ۱۰ درصد تخمین زده می‌شود. اروپا با سیستم‌های سازمان‌یافته و اجباری جمع‌آوری جداگانه و فناوری‌های پیشرفته تفکیک مکانیزه پیش می‌رود، در حالی که ایران عمدتاً به جمع‌آوری غیررسمی و تفکیک دستی با دقت پایین متکی است. چارچوب قانونی اروپا بر پایه برنامه‌های بلندمدتی مانند CEAP و SUPD و اهداف اجباری استوار است، در حالی که ایران با وجود داشتن قانون ۱۳۸۳، در اجرای مؤثر آن با چالش مواجه است. مشارکت عمومی در اروپا با آموزش گسترده و مشوق‌های مالی بالا است، در حالی که در ایران، این مشارکت در سطح متوسط تا پایین قرار دارد و سیستم انگیزشی منسجمی وجود ندارد. در حالی که در ایران، بخش غیررسمی فعال است اما بدون ایجاد ارزش‌آفرینی سازمان‌یافته و پایدار. این مقایسه نشان می‌دهد که ایران، با وجود پتانسیل بالای تولید و مصرف پلاستیک، هنوز در مراحل اولیه گذار به اقتصاد چرخشی قرار دارد و نیازمند اصلاحات ساختاری در سه حوزه سیاست‌گذاری، زیرساخت‌های فنی و مشارکت عمومی است.

جدول ۱- مقایسه وضعیت ایران و اتحادیه اروپا در مدیریت پسماند پلاستیکی

معیار	ایران (بر اساس مطالعات میدانی)	اتحادیه اروپا
جمع‌آوری جداگانه	عمدتاً غیررسمی و بدون زیرساخت	سیستم‌های سازمان‌یافته و اجباری
تفکیک مکانیزه	عمدتاً دستی و با دقت پایین	با فناوری‌های پیشرفته
چارچوب قانونی	قانون ۱۳۸۳ با اجرای ضعیف	CEAP، SUPD، اهداف اجباری
مشارکت عمومی	متوسط تا پایین، بدون سیستم انگیزشی	بالا، با آموزش و مشوق‌های مالی
اطلاعات و آمار دقیق	وجود ندارد	مرتب و فصلی
مقدار مصرف	تقریباً ۵ میلیون تن	۳۲٫۲ میلیون تن
بازیافت	حداکثر ۱۴ درصد	۲۶٫۹ درصد
بازیابی انرژی	۱٫۵ درصد	۴۹٫۶ درصد
دفن	۸۴٫۵ درصد	۲۳٫۵ درصد

۴- نتیجه‌گیری

مدیریت پسماند پلاستیکی یک روند تدریجی و سیستمی است، نه یک تحول ناگهانی. تصور ایجاد معجزه‌ای که به سرعت و به صورت یک‌باره نرخ بازیافت را به ۱۰۰ درصد برساند، دور از واقعیت و غیرعملی است. موفقیت در این مسیر، نه در تحقق سریع اهداف ایده‌آل، بلکه در حرکت پایدار و جهت‌دار از روش‌های پایان چرخه‌ای (مانند دفن) به سمت راهکارهای چرخشی (مانند بازیافت و استفاده مجدد) نهفته است. در ایران، این روند با چالش‌های ساختاری عمیقی مواجه است. بر اساس داده‌های میدانی و مطالعات اخیر، تنها حدود ۸ تا ۱۰ درصد از پسماندهای پلاستیکی بازیافت می‌شوند، در حالی که بازیابی انرژی (سوزاندن) تنها ۱٫۵ درصد از این جریان را تشکیل می‌دهد و بیش از ۸۵ درصد به‌طور مستقیم و بدون هیچ‌گونه پردازش، در محل‌های دفن رها می‌شوند. این آمار نشان‌دهنده سیستمی خطی است که همچنان در چرخه تولید-مصرف-دفن گیر کرده است. یکی از ریشه‌های اصلی این ناکارآمدی، نابرابری اقتصادی بین

پلاستیک بکر و پلاستیک بازیافتی است. در ایران، قیمت بسیار پایین پلاستیک نو که اغلب از طریق قیمت‌گذاری دستوری تعیین می‌شود، باعث شده است که تقاضا برای پلاستیک بازیافتی به دلیل تفاوت کم در قیمت و عدم اطمینان از کیفیت، در سطح بسیار پایینی باقی بماند. در چنین شرایطی، حتی با وجود زنجیره غیررسمی فعال جمع‌آوری، صنعت بازیافت نمی‌تواند به‌طور پایدار رشد کند، زیرا بازار مصرف پایداری برای محصولات نهایی‌اش وجود ندارد. از سوی دیگر، تفکیک و جمع‌آوری ضایعات پلاستیک در ایران عمدتاً توسط شبکه‌های غیررسمی (زباله‌گردها و مراکز خرید خرد) انجام می‌شود. هرچند انگیزه اقتصادی این بخش موجب جلوگیری از هدررفت کامل منابع شده است، اما این سیستم فاقد پوشش جامع، استانداردسازی فنی، نظارت مؤسسه‌ای و ثبت رسمی است. در نتیجه، زیرساخت‌های بازیافت، با خوراکی پر از آلودگی و با کیفیت نامشخص مواجه می‌شوند که کارایی فرآیند را کاهش داده و هزینه‌های آن را افزایش می‌دهد.

در مقابل، تجربه اتحادیه اروپا نشان می‌دهد که گذار به اقتصاد چرخشی یک تغییر پارادایم نظام‌مند است که بر سه پایه استوار است: قانون، تقاضای القاشده و زیرساخت. اروپا با اتخاذ چارچوب‌های الزام‌آور از جمله اهداف بازیافت ۵۵ درصدی تا ۲۰۳۰، حداقل ۳۰ درصد محتوای بازیافتی در بطری‌های PET و ممنوعیت پلاستیک‌های یک‌بارمصرف، نه تنها نرخ بازیافت را به ۲۶٫۹ درصد رسانده، بلکه برای اولین بار در تاریخ، حجم بازیافت از دفن پلاستیک، پیشی گرفته است. با این حال، حتی در اروپا نیز چالش‌هایی مانند سوزاندن ۴۹٫۶ درصدی پسماند و وجود بخش‌های مقاوم (مثل خودرو و الکترونیک) نشان می‌دهد که دستیابی به حلقه‌ای کاملاً بسته، نیازمند اصلاحات عمیق‌تر مانند ترویج بازیافت شیمیایی است.

در نهایت، حرکت موفقیت‌آمیز ایران به سوی اقتصاد چرخشی در حوزه پلاستیک، مستلزم اصلاحات ساختاری چندجانبه زیر است:

۱. سیاست‌گذاری هوشمند: اجرای قاطع قانون و اصل EPR، همراه با قیمت‌گذاری واقع بینانه برای پلاستیک نو و الزام قانونی برای استفاده از محتوای بازیافتی در محصولات.

۲. توسعه زیرساخت: سرمایه‌گذاری در جمع‌آوری جداگانه و فناوری‌های مکانیزه تفکیک برای افزایش کیفیت خوراک بازیافت و ایجاد ثبات در عرضه مواد ثانویه.

۳. مشارکت هوشمند عمومی: ارائه آموزش هدفمند و طراحی مشوق‌های اقتصادی (مانند سیستم بازگشت سپرده) برای سازمان‌دهی مشارکت شهروندان، به گونه‌ای که پتانسیل عظیم تولید پلاستیک در ایران نزدیک به ۵ میلیون تن سالانه، به جای هدررفت در دفن یا سوزاندن، به منبعی پایدار برای ارزش‌آفرینی تبدیل شود.

۴. ادغام بخش غیررسمی در سیستم رسمی با ایجاد انگیزه‌های اقتصادی: به جای مقاومت در برابر جمع‌آوران غیررسمی، باید از ظرفیت آن‌ها به عنوان نیروی اولیه جمع‌آوری استفاده کرد. این ادغام می‌تواند از طریق ثبت‌سازی، اعطای مجوز، ارائه تسهیلات مالی و فنی و ایجاد زنجیره‌های خرید تضمین‌شده برای مواد جمع‌آوری‌شده انجام شود. چنین رویکردی، ضمن کاهش هدررفت، به عنوان پلی بین سیستم غیررسمی و صنعت رسمی بازیافت عمل خواهد کرد.

بدون این چهارگانه، هرگونه تلاش مجزا در یکی از این حوزه‌ها ناکافی خواهد بود. اقتصاد چرخشی در ایران، تا زمانی که به صورت سیستمی، قانونی و بازارمحور پیاده‌سازی نشود، تنها در چرخه‌های محلی، غیررسمی و ناپایدار گیر خواهد کرد.

۵-منابع و مراجع

1. Mrowiec, B., *Plastics in the circular economy (CE)*, Ochrona Srodowiska i Zasobow Naturalnych, 2018. 29(4): p. 16–19.
2. Calleja, D., *Why the new plastics economy must be a circular economy*, Food & Agriculture Actions Science Report, 2019. (Special Issue 19): p. 22–27.
3. Roudbari, A., et al., *Solving the plastic waste crisis with the participation of people in developing countries, case study of Iran*, Sustainable Journal of Management and Science, 2024. 10(1): p. 25–29.
4. *Plastics Europe, Plastics – the fast facts 2024: circular economy for plastics about the report*, 2024.

5. Van Eygen, E., Laner, D. and Fellner, J., Circular economy of plastic packaging: current practice and perspectives in Austria, *Waste Management*, 2018. 72: p. 55–64.
6. Volk, R., et al., Techno-economic assessment and comparison of different plastic recycling pathways: a German case study, *Journal of Industrial Ecology*, 2021. 25(5): p. 1318–1337.
7. Molayzahedi, S. M. and Abdoli, M. A., A new sustainable approach to integrated solid waste management in Shiraz, Iran, *Pollution*, 2022. 8(1): p. 303–314.
8. Rouhani, A. and Hejman, M., A review of soil pollution around municipal solid waste landfills in Iran and comparable instances from other parts of the world, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2025. 22(10): p. 9711–9728.
9. Schmidt, J., et al., Challenges and solutions for plastic packaging in a circular economy, *Chemie Ingenieur Technik*, 2021. 93(11): p. 1751–1762.
10. Foschi, E. and Bonoli, A., The commitment of packaging industry in the framework of the european strategy for plastics in a circular economy, *Administrative Sciences*, 2019. 9(1).
11. Venkatachalam, V., Pohler, M., Spierling, S., Nickel, L., Barner, L. and Endres, H. J., Design for recycling strategies based on the life cycle assessment and end of life options of plastics in a circular economy, *Macromolecular Chemistry and Physics*, 2022. 223(13): p. 1–26.
12. Jalalipour, H., Jaafarzadeh, N., Morscheck, G., Narra, S. and Nelles, M., Adoption of sustainable solid waste management and treatment approaches: a case study of Iran, *Waste Management & Research*, 2021. 39(7): p. 975–984.
13. Castell-Rüdenhausen, T. zu, Malin and Marttila, Measures to enhance a circular plastic economy in Europe, 2023. (3).
14. Alrazen, H. A., et al., A review of the pathways, limitations, and perspectives of plastic waste recycling, *Materials for Renewable and Sustainable Energy*, 2025. 14(3).
15. Burlakovs, J., et al., Gateway of landfilled plastic waste towards circular economy in Europe, *Separations*, 2019. 6(2): p. 1–8.
16. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P. and Hultink, E. J., The circular economy – a new sustainability paradigm?, *Journal of Cleaner Production*, 2017. 143: p. 757–768.
17. Tang, K. H. D., An overview of circular economy approaches for plastics, *Recent Progress in Materials*, 2025. 7(3): p. 1–22. DOI: [10.21926/rpm.2503011](https://doi.org/10.21926/rpm.2503011).
18. Sinchai, A., Boonyang, K. and Simmala, T., Development of a low-cost automated injection molding device for sustainable plastic recycling and circular economy applications, *Inventions*, 2024. 9(6).
19. Baran, B., Resource (in)efficiency in the EU: a case of plastic waste, *Ekonomia i Prawo*, 2022. 21(1): p. 45–62. DOI: [10.12775/eip.2022.003](https://doi.org/10.12775/eip.2022.003).
20. Nodehi, M. and Taghvaei, V. M., Applying circular economy to construction industry through use of waste materials: a review of supplementary cementitious materials, plastics, and ceramics. 2022. 2(3). Springer International Publishing.
21. Lacson, J., Plastic recycling and sustainability a process economics framework, 2019.
22. Plastics Europe, The circular economy for plastics, Plastics Europe, 2024. (March): p. 1–114.

23. Padmanabhan, S., et al., Energy recovery of waste plastics into diesel fuel with ethanol and ethoxy ethyl acetate additives on circular economy strategy, *Scientific Reports*, 2022. 12(1): p. 1–13.
24. Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P. and Van Woerden, F., What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. 2018. World Bank.
25. Tang, G., et al., Waste plastic to energy storage materials: a state-of-the-art review, *Green Chemistry*, 2023. 25(10): p. 3738–3766.
26. Mazur-Wierzbicka, E., Circular economy: advancement of European Union countries, *Environmental Sciences Europe*, 2021. 33(1). DOI: [10.1186/s12302-021-00549-0](https://doi.org/10.1186/s12302-021-00549-0).
27. The Council of the European Communities, Council directive of 15 December 1975 on waste (75/442/EEC), *Official Journal of the European Communities*, 1975. L 194/39–41.
28. Reid, D. A., The packaging and packaging waste directive, *European Environmental Law Review*, 1995. 4(8): p. 239–242.
29. Platon, V., Pavelescu, F. M., Antonescu, D., Frone, S., Constantinescu, A. and Popa, F., Innovation and recycling—drivers of circular economy in EU, *Frontiers in Environmental Science*, 2022. 10: p. 1–14.
30. Eurometaux, EU circular economy package – overall recommendations, 2016.
31. Comisión Europea, A European strategy for plastics, European Commission, 2018. p. 24.
32. European Commission, Commission staff working document impact assessment accompanying the document proposal for a directive of the European parliament and of the council on the reduction of the impact of certain products on the environment, 2018. 76.
33. Nguyen, T., Van Nguyen, T., Zhou, L., Duong, Q. H. and Ieromonachou, P., Assessing the impact of EU policies on recycling supply chain: a system dynamics perspective on advancing packaging recycling capacity, *Annals of Operations Research*, 2025. 355(2): p. 2017–2069.
34. Cimpan, C., Bjelle, E. L., Budzinski, M., Wood, R. and Strømman, A. H., Effects of circularity interventions in the European plastic packaging sector, *Environmental Science & Technology*, 2023. 57(27): p. 9984–9995.
35. European Commission, Directive of the European parliament and of the council amending directive 2008/98/EC on waste, 2015.
36. Alabi, O. O., Akande, T. O., Gbadeyan, O. J. and Deenadayalu, N., Advanced technologies for plastic waste recycling: examine recent developments in plastic waste recycling technologies, *RSC Advances*, 2025. 15(48): p. 40541–40557.
37. Schultz, F. C. and Reinhardt, R. J., Technological challenges and opportunities to plastics valorization in the context of a circular economy in Europe, *Sustainability*, 2023. 15(4): p. 1–10.
۳۸. پاپلی یزدی، م.ح. و وثوقی، ف.، ساماندهی صنایع بازیافت مواد زاید جامد در شهر مشهد لزوم ایجاد شهرک بازیافت، *مجله جغرافیا و توسعه*، ۲۰۰۴. ۲(۳)، صفحه ۱۴۷–۱۶۶.
۳۹. ناظم، ف. و همکاران، ارزیابی اولویت‌ها و پتانسیل بازیافت از پسماندهای شهری شهرضا، *مجله منابع طبیعی ایران*، ۱۳۸۷، ۶۱(۴)، صفحه ۹۳۳–۹۴۱.

40. Golhosseini, Z. and Ghazizade, M. J., Municipal solid waste status in Iran: from generation to disposal, Environmental Protection Research, 2024. p. 16–29.

۴۱. غلامپور ارباستان، ه. و همکاران، گزارش نظارتی وضعیت احداث زباله سوزها در کشور و مشکلات پیشرو، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۴۰۳، ۲۰۳۷۵، صفحه ۳۴-۰.