

Challenges in the Adoption and Implementation of Sustainable Manufacturing Systems in Iran's Petrochemical Industry

Amin Askari 

Department of Industrial Management, SR.C.,
Islamic Azad University, Tehran, Iran

Mohsen Jalali Majidi *

Department of Industrial Management, TAB.C.,
Islamic Azad University, Tabas, Iran

Hossein Shirazi 

Department of Technology Management, Qo.C.,
Islamic Azad University, Qom, Iran

Arnoosh Shakeri 

Department of Management and Economics,
SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

Sustainable manufacturing systems have emerged as a strategic approach in process industries, aiming to reduce environmental impacts, optimize resource utilization, and enhance economic and social performance. Despite their potential benefits, the adoption and implementation of such systems in the petrochemical industry are confronted with multiple challenges that may impede the achievement of sustainability objectives. Therefore, a systematic and context-specific identification of these challenges is essential. This study aims to identify and contextualize the challenges associated with the adoption and implementation of sustainable manufacturing systems in the Iranian petrochemical industry using a mixed-methods research design. In the qualitative phase, a meta-synthesis approach was employed to extract common challenges reported in previous studies. In the quantitative phase, second-order confirmatory factor analysis was applied to validate and structure the identified challenges within the Iranian petrochemical context. The study population comprised managers, policymakers, industry experts, and academic scholars with relevant expertise in the petrochemical sector, from whom 225 respondents were selected using a convenience sampling method. The results of the meta-synthesis revealed 45 challenges categorized

into 12 major dimensions. The confirmatory factor analysis indicated that 41 of these challenges are significant and applicable to the Iranian petrochemical industry. Moreover, human resources, financial/economic, and organizational dimensions were identified as the most critical challenge areas, with path coefficients of 0.33, 0.316, and 0.247, respectively. The findings provide valuable insights for improving strategic decision-making, resource allocation, and sustainability-oriented policies, and offer a solid foundation for future research in similar complex and technology-intensive industries.

Introduction

Manufacturing activities are major contributors to greenhouse gas emissions and intensive natural resource consumption, operating under increasing pressure from stringent environmental regulations, rising consumer expectations, and the need to sustain productivity and competitiveness (Vijay Kumar & Shahin, 2025). Consequently, sustainable production has emerged as an essential strategic approach that integrates economic, environmental, and social objectives and represents a core pillar of future industrial development (Harikannan & Vinodh, 2025). Through energy-efficient technologies, eco-friendly materials, waste reduction, and circular economy principles, sustainable production systems can mitigate environmental impacts while enhancing efficiency and competitiveness. This transition is particularly critical in the energy-intensive petrochemical industry, which faces severe environmental risks, investment constraints, technological limitations, and resource imbalances (Shabur et al., 2025). Despite its potential benefits, effective implementation requires a context-specific understanding of challenges, a gap that remains insufficiently addressed in the Iranian petrochemical industry. Addressing this gap, the current study seeks to answer the fundamental research main and sub-questions:

What are the key challenges associated with the adoption and implementation of sustainable production systems in the Iranian petrochemical industry?

Literature Review

The global literature on sustainable production systems has grown rapidly, emphasizing emerging technologies such as artificial intelligence, digital twins, blockchain, circular economy practices, and the paradigms of Industry 4.0 and Industry 5.0 as key enablers of economic, environmental, and social performance. These studies highlight the potential of digitalization and human-centric approaches to enhance productivity, resilience, and

sustainability in manufacturing. However, challenges related to technology integration, institutional and policy constraints, ethical issues, and cybersecurity persist. Empirical research using multi-criteria decision-making methods has prioritized barriers linked to technological readiness, human resources, and training. At the national level, studies mainly adopt quantitative approaches and focus on environmental, technological, and financial factors. Despite this progress, systematic and context-specific analyses of sustainable production challenges in energy-intensive industries, particularly the Iranian petrochemical sector, remain limited, motivating the present study's integrated meta-synthesis and second-order factor analysis approach.

Methodology

This study is applied in purpose and adopts a mixed-methods design. In the qualitative phase, a meta-synthesis approach following the framework of Sandelowski and Barroso (2007) was employed to systematically identify and organize the barriers to the adoption and implementation of sustainable manufacturing systems. In the quantitative phase, second-order confirmatory factor analysis (CFA) using a formative–reflective measurement model was applied in SmartPLS to screen, validate, and contextualize the identified challenges within Iran's petrochemical industry. Data were collected from industry experts and academic specialists, and construct reliability and validity were assessed through internal consistency, convergent validity, and discriminant validity criteria.

Results

The findings show that effective adoption of sustainable manufacturing systems in Iran's petrochemical industry relies on systematically identifying and contextualizing key challenges. The qualitative meta-synthesis of 29 studies identified 12 dimensions and 45 challenges across organizational, human, economic, technological, environmental, and institutional domains. Quantitative analysis using second-order formative–reflective CFA confirmed the robustness of the hierarchical model, with acceptable reliability, validity, and no multicollinearity issues. Bootstrapping results indicated that 41 challenges significantly contributed to the higher-order construct of sustainable manufacturing challenges. Among the dimensions, human resources, economic/financial, and organizational challenges had the highest weights, highlighting their dominant role and priority for managerial attention and policy intervention.

Discussion

The findings indicate that the challenges associated with adopting and implementing sustainable manufacturing systems in Iran's petrochemical industry are multidimensional, systemic, and highly context-dependent. The identification of 12 dimensions and 45 challenges, with 41 empirically validated as significant, underscores the necessity of contextualizing and localizing theoretical frameworks of sustainable manufacturing. Results from the second-order confirmatory factor analysis reveal that these challenges do not reflect a single underlying factor but emerge from the interaction of organizational, human, economic, technological, and institutional dimensions. The prominence of human resource, economic-financial, and organizational dimensions suggests that the transition toward sustainable manufacturing is primarily a managerial, structural, and human-centered challenge rather than a purely technological one.

Conclusion

By proposing a formative-reflective hierarchical model, this study provides a comprehensive framework for analyzing sustainable manufacturing challenges in Iran's petrochemical industry. The results demonstrate that successful implementation of sustainable manufacturing systems requires a systemic, cross-functional approach grounded in realistic prioritization of key challenges. Emphasis on human capital development, organizational restructuring, and the design of stable financial and supportive policies plays a decisive role in facilitating this transition. The proposed framework offers a robust foundation for managerial decision-making, industrial policy formulation, and future academic research, and it can be adapted to other process-based industries with similar structural and technological characteristics.





Keywords: Sustainable Development, Sustainable Manufacturing Systems, Petrochemical Industry, Meta-synthesis Approach

* Corresponding Author: mj.majidi@iau.ac.ir

How to Cite: Askari, A., Jalali Majidi, M., Shakeri, A., & Shirazi, H. (2026). Challenges in the Adoption and Implementation of Sustainable Manufacturing Systems in Iran's Petrochemical Industry. *Journal of Industrial Management Studies*, ...



چالش‌های پذیرش و اجرای سیستم‌های تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران

| | |
|--|---|
| گروه مدیریت صنعتی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران | امین عسکری  |
| گروه مدیریت صنعتی، واحد طبس، دانشگاه آزاد اسلامی، طبس، ایران | محسن جلالی مجیدی  * |
| گروه مدیریت تکنولوژی، واحد قم، دانشگاه آزاد اسلامی، قم، ایران | حسین شیرازی  |
| گروه مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران | آرنوش شاکری  |

چکیده

سیستم‌های تولید پایدار به‌عنوان یکی از رویکردهای راهبردی در صنایع فرایندی، با هدف کاهش پیامدهای محیط زیستی، بهینه‌سازی مصرف منابع و ارتقای عملکرد اقتصادی و اجتماعی توسعه یافته‌اند. صنعت پتروشیمی، به دلیل نقش کلیدی در زنجیره تأمین انرژی و مواد شیمیایی و همچنین پیچیدگی‌های فنی، مدیریتی و محیطی، با ریسک‌ها و عدم قطعیت‌های متعددی مواجه است که پذیرش و اجرای سیستم‌های تولید پایدار را با چالش‌های جدی همراه می‌سازد. شناسایی نظام‌مند این چالش‌ها برای تدوین راهبردهای اثربخش و تحقق اهداف پایداری در این صنعت ضروری است. پژوهش حاضر در قالب مطالعه‌ای آمیخته با هدف شناسایی و بومی‌سازی چالش‌های پذیرش و اجرای سیستم‌های تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران انجام شده است. در مرحله نخست، با بهره‌گیری از رویکرد فراترکیب، چالش‌های متداول از پژوهش‌های پیشین شناسایی شدند. سپس، به‌منظور اعتبارسنجی و سازماندهی نهایی این چالش‌ها در بستر صنعت پتروشیمی ایران، از تحلیل عاملی تأییدی مرتبه دوم استفاده شد. جامعه آماری پژوهش شامل مدیران، سیاست‌گذاران، کارشناسان صنعت پتروشیمی و اساتید دانشگاهی بودند که ۲۲۵ نفر به روش نمونه‌گیری در دسترس انتخاب شدند. یافته‌های فراترکیب حاکی از شناسایی ۴۵ چالش در قالب ۱۲ وجه اصلی بود که نتایج تحلیل عاملی نشان داد ۴۱ مورد از آن‌ها برای صنعت پتروشیمی ایران معنادار هستند. همچنین، ابعاد منابع انسانی، مالی/اقتصادی و سازمانی به‌ترتیب با ضرایب مسیر ۰٫۳۳، ۰٫۳۱۶ و ۰٫۲۴۷، محوری‌ترین ابعاد چالشی را تشکیل دادند. این نتایج می‌تواند به بهبود تصمیم‌گیری‌های راهبردی، برنامه‌ریزی منابع و تدوین سیاست‌های حمایتی در صنعت پتروشیمی کمک کرده و مبنای علمی مناسبی برای پژوهش‌های آتی در حوزه تولید پایدار فراهم آورد.

کلیدواژه‌ها: توسعه پایدار، سیستم‌های تولید پایدار، صنعت پتروشیمی، رویکرد فراترکیب

مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری رشته مدیریت صنعتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات است.

نویسنده مسئول: mj.majidi@iaau.ac.ir

مقدمه

بخش قابل توجهی از انتشار گازهای گلخانه‌ای و مصرف فشرده منابع طبیعی به فعالیت‌های صنایع تولیدی بازمی‌گردد. این صنایع در نقطه عطف حساسی قرار داشته و با افزایش فشارها برای کاهش ردپای مخرب محیط‌زیستی و در عین حال، حفظ بهره‌وری و رقابت‌پذیری مواجه است (Vijay Kumar & Shahin, 2025). در واکنش به این وضعیت، سیاست‌گذاران با وضع مقررات و الزامات قانونی سخت‌گیرانه‌تر، تلاش کرده‌اند دامنه اثرات مخرب فعالیت‌های تولیدی را کنترل کنند (Yip et al., 2023). هم‌زمان، بسیاری از بنگاه‌ها برای پاسخ به انتظارات روزافزون مصرف‌کنندگان در خصوص محصولات دوستدار محیط‌زیست و همچنین کاهش ردپای کربنی خود، به سمت مدیریت هدفمند منابع و به‌کارگیری رویکردهای تولید پایدار حرکت کرده‌اند (Teixeira et al., 2022). در حوزه صنعت، رویکرد توسعه پایدار بر طراحی و اجرای راهکارهایی متمرکز است که بتوانند تعادل میان اهداف کوتاه‌مدت پروژه‌ها و اهداف بلندمدت سیستم‌های عملیاتی را برقرار ساخته و هم‌زمان حفاظت از منابع طبیعی، محیط‌زیست و نیازهای انسانی را تضمین کنند (پرووزیری و همکاران، ۱۴۰۱).

مفهوم تولید پایدار در نتیجه تحول رویکردهای مدیریت محیط‌زیست و تولید صنعتی شکل گرفته است. در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰، با افزایش نگرانی‌ها درباره پیامدهای زیست‌محیطی فعالیت‌های صنعتی، رویکرد غالب صنایع مبتنی بر کنترل آلودگی در انتهای خط تولید بود؛ بدین معنا که سازمان‌ها تلاش می‌کردند آلودگی‌ها را پس از ایجاد از طریق فناوری‌های کنترلی کاهش دهند. با این حال، این رویکرد به دلیل تمرکز بر پیامدها به جای علل ایجاد آلودگی، کارایی محدودی داشت. در اواخر دهه ۱۹۸۰ و اوایل دهه ۱۹۹۰، با طرح مفهوم توسعه پایدار، توجه به ادغام ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در فعالیت‌های صنعتی افزایش یافت (WCED, 1987). در این دوره رویکردهایی مانند تولید پاک و پیشگیری از آلودگی مطرح شدند که بر کاهش مصرف منابع و جلوگیری از ایجاد آلاینده‌ها در مبدأ تأکید داشتند. در دهه ۲۰۰۰، با توسعه مفاهیمی مانند تولید سبز، طراحی برای محیط‌زیست و مدیریت زنجیره تأمین سبز، نگاه به پایداری از سطح فرایندهای منفرد به سطح کل سیستم تولید و چرخه عمر محصول گسترش یافت (Srivastava, 2007). در این چارچوب، مفهوم تولید پایدار به‌عنوان رویکردی جامع مطرح شد که هدف آن تولید

کالاها با حداقل مصرف منابع و کمترین اثرات زیست‌محیطی، در کنار حفظ ایمنی و منافع اجتماعی بود. در سال‌های اخیر با گسترش مفاهیم و رویکردهایی مانند اقتصاد چرخشی، بهره‌وری منابع و فناوری‌های نوین تولید و همچنین با شتاب گرفتن گذار جهانی به سوی الگوهای توسعه سازگار با محیط‌زیست، سیستم تولید پایدار به یکی از مؤلفه‌های محوری آینده صنعتی تبدیل شده است (Quintana-García et al., 2022). سیستم تولید پایدار شامل فرآیند تولید کالاها به گونه‌ای است که برای جامعه، کارکنان و مشتریان ایمن باشد، انرژی و منابع طبیعی حفظ شوند و این اصول در محصولات، فرآیندها و خدمات صنعتی اعمال گردد تا دامنه پذیرش آن در عملکردهای سازمانی گسترش یابد. این امر با ایجاد تعادل بین عوامل اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی محقق می‌شود (Harikannan & Vinodh, 2025). تولید پایدار صرفاً یک مفهوم نظری یا ابتکار محدود نیست، بلکه راهبردی ملموس و ضروری است که قابلیت اجرا و گسترش دارد. با یکپارچه‌سازی مواد دوستدار محیط زیست، فناوری‌های کم‌مصرف انرژی، مدل‌های کاهش ضایعات و زنجیره‌های تأمین شفاف، صنایع تولیدی می‌توانند به‌طور قابل توجهی ردپای محیط‌زیستی خود را کاهش دهند و هم‌زمان اعتبار برند، وفاداری مشتریان و کارایی عملیاتی خود را تقویت کنند (Azad, 2025). دستیابی به تولید پایدار مستلزم اتخاذ یک رویکرد چندبعدی است که در آن فناوری به‌صورت یکپارچه با سیاست‌های حاکمیتی و پیامدهای اجتماعی مثبت تلفیق شود.

گذار به تولید پایدار دیگر یک انتخاب اختیاری نیست، بلکه ضرورتی اجتناب‌ناپذیر برای مواجهه با چالش‌های جهانی نظیر تغییرات اقلیمی، کاهش منابع و نابرابری‌های اجتماعی به شمار می‌رود (Shabur et al., 2025). اهمیت این موضوع در صنایع انرژی‌بر به‌ویژه پتروشیمی دوچندان است، زیرا صنعت پتروشیمی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی و استراتژیک در کشورهای مختلف از جمله ایران به شمار می‌رود. صنعت پتروشیمی ایران سهم قابل توجهی در تولید ناخالص داخلی، ارزآوری و اشتغال دارد و به‌ویژه در سال‌های اخیر با وجود فشارهای اقتصادی و تحریم‌ها توانسته است نقش خود را حفظ کند. در سال ۱۴۰۴ ظرفیت اسمی تولید محصولات پتروشیمی به حدود ۹۶,۶ میلیون تن رسید و تولید واقعی حدود ۶۶ میلیون تن بوده است. این صنعت در برنامه هفتم توسعه ملی تلاش دارد ظرفیت تولید را تا حدود ۱۳۰ میلیون تن افزایش دهد، که این نشان‌دهنده رشد و توسعه این بخش است. با این حال، صنعت پتروشیمی یکی از بزرگ‌ترین صنایع آلاینده جهانی

محسوب می‌شود، که دلیل اصلی آن، مصرف بیش از حد آب، افزایش حجم بالای ضایعات و آلودگی ناشی از انتشار گازهای آلاینده شیمیایی است. از سوی دیگر، محدودیت سرمایه‌گذاری، مشکلات جذب فناوری‌های نوین، ناترازی خوراک و محدودیت تامین منابع اولیه از دیگر مشکلات این صنعت محسوب می‌شود که آثار منفی اقتصادی به همراه دارد. این صنعت در حال تجربه یک تحول حیاتی است که ناشی از الزامات محیط‌زیستی، فشارهای سیاست‌گذاری و تغییر انتظارات مصرف‌کنندگان است. روش‌های سنتی تولید تهدیدات جدی برای اکوسیستم‌ها و سلامت عمومی ایجاد کرده‌اند. در پاسخ به این چالش‌ها، تولید پایدار به‌عنوان یک راهکار نویدبخش مطرح شده است که همان‌طور که اشاره شد، بر استفاده از مواد دوستدار محیط زیست، تکنیک‌های تولید پاک‌تر و اصول اقتصاد چرخشی تأکید دارد (Azad, 2025).

علی‌رغم قابلیت‌های سیستم‌های تولید پایدار برای صنعت پتروشیمی ایران، پذیرش و اجرای موفق چنین سیستمی مستلزم شناخت دقیق و تحلیل نظام‌مند چالش‌های بالقوه در این مسیر است. شناخت دقیق چالش‌های پذیرش و اجرای سیستم تولید پایدار در این صنعت از چند جنبه اهمیت دارد. نخست، حفظ مزیت رقابتی جهانی: با توجه به برنامه‌های بلندپروازانه ایران برای افزایش ظرفیت و توسعه زنجیره ارزش محصولات پتروشیمی، شناسایی چالش‌های گذار به تولید پایداری به شرکت‌ها کمک می‌کند تا در بازارهای جهانی بهتر رقابت کنند. دوم، کاهش آثار محیط‌زیستی: با افزایش مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌ها در این صنعت، ضروری است که راهکارهای تولیدی برای کاهش اثرات منفی محیط‌زیستی تدوین شود تا هم اهداف توسعه پایدار و هم قوانین محیط‌زیستی رعایت گردد. سوم، بهبود پایداری اجتماعی-اقتصادی: صنعت پتروشیمی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم برای بیش از یک میلیون نفر اشتغال ایجاد کرده و بخش بزرگی از صادرات غیرنفتی کشور را تشکیل می‌دهد. بنابراین هرگونه مشکل تولیدی در این صنعت نه تنها به اقتصاد بلکه به جامعه نیز آسیب می‌زند. با وجود اهمیت اقتصادی و استراتژیک این صنعت، شکاف‌های پژوهشی مهمی در حوزه تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران وجود دارد. بخشی از این شکاف به ادبیات علمی محدود در تحلیل عملیاتی و اجرایی تولید پایدار در حوزه پتروشیمی ارتباط دارد. فاصله میان تئوری و عمل در پذیرش و اجرای سیستم تولید پایدار و تحلیل چالش‌های اجرایی همچنان در پژوهش‌ها مغفول مانده است. در راستای پر کردن این شکاف مطالعاتی، پژوهش حاضر در صدد پاسخ به این

مسئله اصلی است که: «چالش‌های کلیدی پذیرش و اجرای سیستم‌های تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران کدام‌اند؟». پاسخ به این سؤال می‌تواند ضمن فراهم کردن نقشه راه برای پیاده‌سازی راهکارهای بهبود پایداری تولید در این صنعت، به تدوین سیاست‌ها و راهبردهای اجرایی کمک کند تا هم بهره‌وری اقتصادی افزایش یابد و هم اثرات محیط‌زیستی و اجتماعی به‌طور موثری کاهش یابد. سایر بخش‌های این مقاله به شرح ذیل سازماندهی شده است:

در بخش دوم با مروری بر پیشینه پژوهش به بیان شکاف‌های تحقیقاتی و سهم دانش افزایی مطالعه حاضر پرداخته می‌شود. در ادامه، روش‌شناسی پژوهش و فرآیند تحلیل آمیخته اطلاعات تشریح خواهد شد. سپس، یافته‌های پژوهش پیرامون چالش‌های کلیدی پذیرش و اجرای سیستم تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران ارائه و تفسیر می‌شود. بخش پایانی مقاله به بحث و نتیجه‌گیری از یافته‌ها اختصاص خواهد یافت.

مرور پیشینه

ادبیات جهانی در حوزه سیستم‌های تولید پایدار طی سال‌های اخیر رشد قابل ملاحظه‌ای داشته و مطالعات مختلف ابعاد متنوعی از این پدیده نوظهور را مورد واکاوی قرار داده‌اند. مطالعات مروری نظام‌مند، مانند پژوهش Harikannan و Vinodh (۲۰۲۵) به بررسی نقش فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم در تحقق تولید پایدار پرداختند. آن‌ها با بررسی تأثیر صنعت ۴,۰ بر ابعاد اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی پایداری نشان دادند که فناوری‌های صنعت ۴,۰ نقش مؤثری در بهبود عملکرد تولید و خلق ارزش اقتصادی پایدار دارند. در این راستا، چارچوب مفهومی پنج‌لایه‌ای برای هدایت صنایع تولیدی در مسیر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ پایدار ارائه کردند. تحقیقات مرتبط با صنعت ۵,۰ هم‌چون مطالعات Shabur و همکاران (۲۰۲۵) و Narkhede و همکاران (۲۰۲۴)، نشان دادند که ادغام فناوری‌های پیشرفته با خلاقیت انسانی می‌تواند پایداری اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی را تقویت کند و تولید سفارشی، کاهش اثرات محیط‌زیستی و بهبود تاب‌آوری نیروی کار را امکان‌پذیر سازد. با این حال، چالش‌هایی از جمله یکپارچگی فناوری، ملاحظات اخلاقی و ریسک‌های امنیت سایبری هم‌چنان باقی است. صنعت ۵,۰ با معرفی ابعاد جدیدی از پایداری شامل تاب‌آوری در خلق ارزش، رفاه انسانی و جامعه پایدار می‌تواند به‌طور هم‌زمان پایداری اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی را در کنار بهره‌وری بالای تولید تقویت کند. Batwara و همکاران (۲۰۲۴) به ادغام دیجیتال‌سازی و پایداری در سازمان‌های تولیدی پرداختند و تلاش کردند

چالش‌های پیش روی تولید هوشمند و پایدار و راهکارهای متناظر را به ترتیب با روش‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی و اداس فازی تصادفی شناسایی و اولویت‌بندی کنند. یافته‌های این پژوهش حاکی از تعیین مانع فناوری به عنوان کلیدی‌ترین مانع و تلاش‌های مشترک در آگاهی محیط‌زیستی و آموزش فرایندهای هوشمند و پایدار به عنوان مؤثرترین راهکارها بودند (Firescu & Filip, 2025). در پژوهش مشابه دیگر، Abdullah و همکاران (۲۰۲۳) راهبردهای مناسب برای مواجهه با موانع اجرای تولید پایدار در شرکت‌های کوچک و متوسط تولیدی در کشور هند را شناسایی کرده و با رویکرد یکپارچه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس فازی اولویت‌بندی کردند. Akhai و Khang (۲۰۲۴) پیشرفت‌ها و مزایای تولید هوشمند و پایدار را مورد مطالعه قرار داده و با رویکرد آینده‌نگرانه بر پیاده‌سازی این شیوه تولید در بخش‌های مختلف پرداختند.

در مطالعات داخلی نیز، پژوهشگران به طور پراکنده و اغلب با کاربست رویکردهای کمی به بررسی محرک‌ها و موانع تولید پایدار در صنایع خودرو و غذا پرداخته‌اند (اجلی و طبرزدی، ۱۴۰۲؛ پوروزیری و همکاران، ۱۴۰۱؛ شاهبندرزاده و کرمی، ۱۴۰۰؛ دباغ و سلطان محمدی، ۱۴۰۰). این تحقیقات نشان داد که عوامل محیط‌زیستی، داخلی، فناوری و مالی نقش کلیدی در موفقیت پیاده‌سازی سیستم‌های پایدار دارند و شناخت دقیق این عوامل برای تدوین راهبردهای اجرایی ضروری است.

با وجود حجم وسیع ادبیات موجود، پژوهش‌های پیشین عمدتاً به شناسایی فناوری‌ها، چارچوب‌ها و مزایای اقتصادی تولید پایدار پرداخته‌اند و تحلیل جامع موانع پذیرش و اجرای تولید پایدار در صنایع خاص، به‌ویژه صنعت پتروشیمی، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در صنعت پتروشیمی ایران، با توجه به حجم بالای تولید، مصرف انرژی و مواد شیمیایی، کمبود زیرساخت‌های مدیریتی و محدودیت‌های فناوری، شناسایی و بومی‌سازی چالش‌های پذیرش و اجرای تولید پایدار اهمیت حیاتی دارد. نوآوری اصلی این پژوهش در تلفیق رویکرد فراترکیب^۱ با تحلیل عاملی تأییدی مرتبه دوم^۲، به‌منظور شناسایی، غربال‌سازی و بومی‌سازی چالش‌های پذیرش و اجرای سیستم‌های تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران نهفته است. برخلاف مطالعات پیشین که عمدتاً بر فناوری‌ها، چارچوب‌های مفهومی و مزایای اقتصادی تولید پایدار تمرکز داشته و کمتر به تحلیل نظام‌مند موانع و چالش‌های اجرایی در صنایع فرایندی، به‌ویژه

^۱ meta-synthesis Approach

^۲ Second-order Confirmatory Factor Analysis

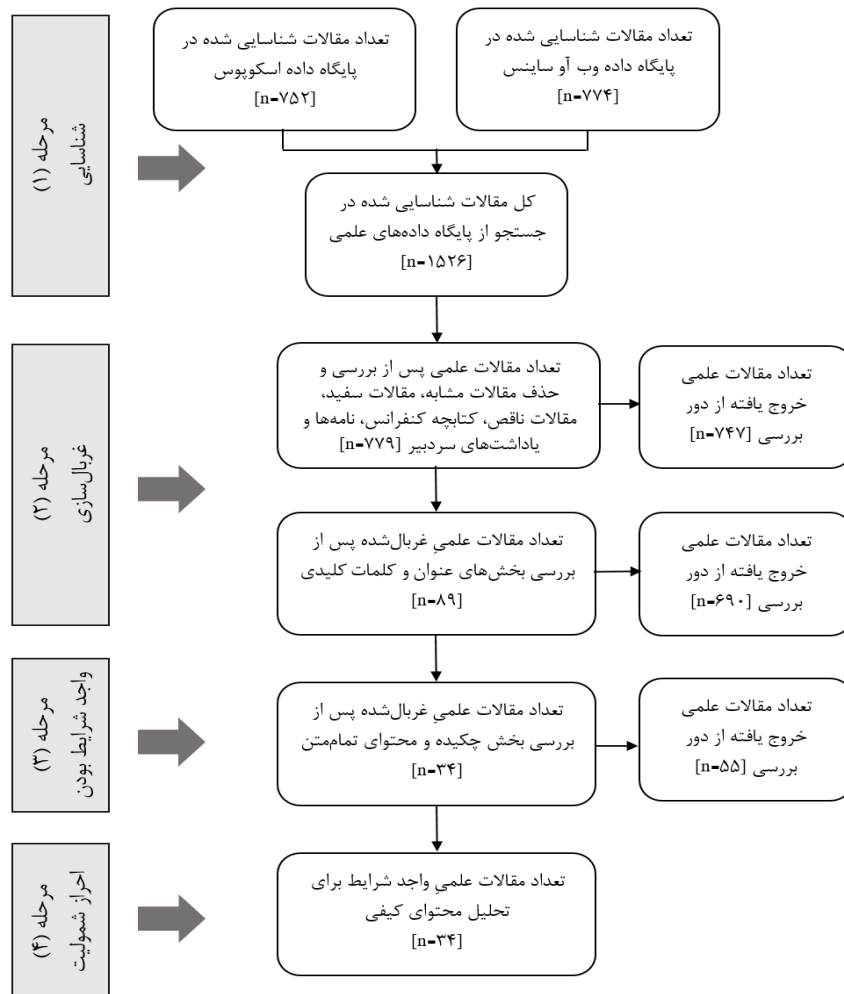
صنعت پتروشیمی پرداخته‌اند، این پژوهش درصدد پر کردن خلأ مذکور از رهگذر ترکیب داده‌های نظری و تجربی است. به کارگیری روش فراترکیب، امکان استخراج جامع و نظریه‌مند چالش‌های شناسایی شده در ادبیات جهانی را فراهم آورده و استفاده از تحلیل عاملی مرتبه دوم، اعتبار این چالش‌ها را در بستر بومی و واقعی صنعت پتروشیمی ایران مورد آزمون قرار داده است. بدین ترتیب، خروجی پژوهش علاوه بر ارائه چارچوبی علمی و ساختاریافته از ابعاد چالش‌های پایدارسازی تولید، می‌تواند تصویری بومی و کاربردی از موانع کلیدی را عرضه کند. این موانع می‌تواند مبنای طراحی و تدوین سیاست‌ها، راهبردهای مدیریتی و مداخلات اجرایی برای ارتقای تاب‌آوری و پایداری در صنایع پتروشیمی کشور باشد. چنین تلفیق روش‌شناختی و کاربردی در ادبیات موجود کمتر مشاهده شده و از این رو، پژوهش حاضر سهم مشخصی در غنای نظری و توسعه عملی دانش تولید پایدار در صنایع پیچیده فرایندی، به‌ویژه صنعت پتروشیمی ایران، دارد.

روش‌شناسی

پژوهش حاضر از نظر هدف از نوع کاربردی، از حیث انتخاب روش‌شناختی، آمیخته (کمی-کیفی) و از لحاظ شیوه گردآوری داده‌ها در زمره مطالعات پیمایشی قرار دارد. فرآیند تحلیل داده‌ها با کاربست رویکرد فراترکیب و روش تحلیل عاملی تأییدی مرتبه دوم انجام می‌گیرد. با عنایت به این که رویکرد فراترکیب از جمله روش پژوهش‌های کیفی بوده و روش تحلیل عاملی تأییدی مرتبه دوم از جمله روش‌های کمی محسوب می‌شود، کاربست این دو روش در کنار یکدیگر برای تحقق هدف پژوهش، مطالعه حاضر را از نظر لایه انتخاب روش‌شناختی در پیاز پژوهش در زمره مطالعه آمیخته (کمی-کیفی) قرار داده است.

برای احصاء و سازماندهی موانع متداول پذیرش و اجرای سیستم تولید پایدار در صنایع تولیدی از روش پژوهشی کیفی فراترکیب طبق الگوی Sandelowski و Barroso (۲۰۰۷) بهره گرفته شده است. فراترکیب، رویکردی کیفی است که با ترکیب و مقایسه مطالعات در پی جستجوی پدیده یا مفهومی ویژه است (Finfgeld-Connett, 2008). نظر به آن که مفاهیم ارائه شده در مطالعات پیشین در حوزه سیستم تولید پایدار از منظر زمینه، مفهوم و پیامدها، وضعیت پراکنده‌ای داشته است، به کارگیری این رویکرد برای شناسایی نظام‌مند چالش‌های متداول پذیرش و اجرای سیستم تولید پایدار در صنایع تولیدی توجیه‌پذیر است. جامعه آماری این بخش از پژوهش شامل مقالات علمی در حوزه توسعه پایدار صنعتی، سیستم‌های تولیدی،

صنعت پتروشیمی و سیستم تولید پایدار است که در دو پایگاه علمی استنادی بین المللی وب آوساینس و اسکوپوس در خلال سال‌های ۲۰۱۵ لغایت ۲۰۲۴ منتشر شده بودند. برای بررسی تناسب مقالات بازیابی شده از دستورالعمل پریزما استفاده شده است. بر اساس دستورالعمل پریزما، فرآیند بازیابی و نهایی سازی مقالات پژوهش حاضر طی چهار مرحله: (۱) شناسایی، (۲) غربال‌سازی، (۳) واجد شرایط بودن و (۴) احراز ورود، انجام گرفته است (شکل ۱).



شکل ۱. دیاگرام جریان پریزما برای مرور نظام‌مند پژوهش

با پیاده‌سازی دستورالعمل پریزما، ۳۴ مقاله علمی واجد شرایط بازیابی شد. در ادامه، به منظور گزینش مقالات اصلاح برای تحلیل محتوای کیفی، فرآیند امتیازدهی به مقالات با استفاده از ابزار برنامه مهارت‌های ارزیابی نقادانه^۱ به صورت جدول ۱ انجام گرفت و در نهایت ۲۹ مقاله با نمره عالی، خیلی خوب، خوب و متوسط برگزیده شدند.

جدول ۱. دسته‌بندی مقالات برحسب مجموع امتیازات در روش برنامه مهارت‌های ارزیابی نقادانه

| دسته | تعداد مقالات هر دسته |
|------------------|----------------------|
| ضعیف (۰-۱۰) | ۵ |
| متوسط (۱۱-۲۰) | ۳ |
| خوب (۲۱-۳۰) | ۵ |
| خیلی خوب (۳۱-۴۰) | ۱۳ |
| عالی (۴۱-۵۰) | ۸ |

با گزینش نهایی مقالات واجد شرایط، تحلیل محتوای کیفی مقالات با رهیافت تحلیل مضمون و با هدف شناسایی و سازماندهی موانع متداول پذیرش و اجرای سیستم تولید پایدار در صنایع تولیدی صورت می‌پذیرد. تحلیل مضمون یکی از روش‌های پرکاربرد و اثربخش در تحلیل داده‌های کیفی به شمار می‌آید که با هدف شناسایی، تحلیل و گزارش الگوهای پنهان در داده‌های متنی به کار گرفته می‌شود. در پژوهش حاضر، فرایند تحلیل مضمون مطابق با مدل شش مرحله‌ای Clarke و Braun (۲۰۰۶) انجام شده است. این مراحل عبارتند از: ۱) آشنایی عمیق با داده‌ها، ۲) تولید کدهای اولیه، ۳) شناسایی مضامین اولیه، ۴) بازبینی و بازسازی مضامین فرعی، ۵) تعریف و نام‌گذاری مضامین اصلی و ۶) تدوین گزارش نهایی. در این پژوهش برای تحلیل محتوای کیفی متون از روش کدگذاری باز و محوری در نرم افزار مکس کیودا استفاده شده است.

در بخش کمی پژوهش، به منظور پایش، غربال‌سازی و بومی‌سازی چالش‌های پذیرش و اجرای سیستم تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران از روش تحلیل عاملی تأییدی مرتبه دوم^۲ در نرم افزار اسمارت پی ال اس بهره گرفته می‌شود. تحلیل عاملی تأییدی رویکردی است که در آزمون نظریات نقشی اساسی ایفا می‌کند. این رویکرد به پژوهشگران امکان می‌دهد تا ساختار عاملی مفروض را بر اساس نظریه‌های موجود یا تحقیقات پیشین ارزیابی کنند. پژوهشگران با استفاده از تحلیل عاملی تأییدی، می‌توانند بررسی کنند که آیا داده‌های

^۱ Critical Appraisal Skills Program (CASP)

^۲ Second-order Confirmatory Factor Analysis

جمع‌آوری شده با مدل اندازه‌گیری مورد انتظار همخوانی دارند یا خیر. این گام اولیه، تضمین می‌کند که سازه‌ها و روابط میان آن‌ها مطابق با انتظارات نظری شکل گرفته‌اند، پیش از آن که مدل‌های پیچیده‌تر مورد بررسی قرار گیرند (Whittaker & Schumacker, 2022; Siriphatcharachot et al., 2025). در پژوهش‌هایی که با پدیده‌های سیستمی، چندبعدی و پیچیده مانند چالش‌های سیستم‌های تولید پایدار سروکار دارند، مدل شکل‌گیرنده-بازتابی از بالاترین انطباق مفهومی و روش‌شناختی برخوردار است؛ زیرا این چالش‌ها حاصل تجمیع ابعاد مستقل اما مکمل بوده و نه بازتاب یک علت واحد نهفته.

در این بخش از پژوهش، با جامعه خبرگی سروکار داریم چرا که داده‌های مورد نیاز پیرامون پایش و غربال‌سازی چالش‌های پذیرش و اجرای سیستم تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران در اختیار مدیران، معاونین، سیاست‌گذاران و کارشناسان فعال در این صنعت و همچنین اساتید و صاحب‌نظران دانشگاهی با تخصص مرتبط بود. جامعه خبرگی این پژوهش شامل افرادی بود که دارای دانش و تجربه مرتبط با مفاهیم تولید پایدار و همچنین شرایط عملیاتی صنعت پتروشیمی ایران بودند. به عبارت دیگر، دو معیار کلیدی در گزینش خبرگان شامل: (۱) تجربه کاری مکفی در صنعت پتروشیمی و (۲) برخورداری از تحصیلات دانشگاهی مرتبط و دانش کافی پیرامون سیستم‌های تولیدی و مفهوم توسعه پایدار بود. این جامعه شامل سیاست‌گذاران، مدیران ارشد و میانی (مانند مدیران تولید، مدیران تحقیق و توسعه، اج‌اس‌ای و غیره)، کارشناسان فنی و تخصصی (با تمرکز بر فرآیندهای تولید، مهندسی شیمی، و بهینه‌سازی منابع) و اساتید دانشگاهی (با رشته‌های تخصصی مرتبط) می‌شد. انتخاب این گروه‌ها به منظور دستیابی به دیدگاه‌های جامع و چندوجهی در خصوص چالش‌های پیچیده تولید پایدار صورت گرفت. سابقه کاری مشارکت‌کنندگان در صنعت پتروشیمی معمولاً بیش از ۵ سال بود و درک خوبی از جنبه‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی این صنعت داشتند. نمونه‌گیری به صورت در دسترس انجام شد و مشارکت‌کنندگان از چندین شرکت کلیدی صنعت پتروشیمی اعم از شرکت‌های دولتی و خصوصی و همچنین دانشگاه‌های معتبر انتخاب گردیدند. برای تعیین اندازه نمونه خبرگی از قاعده سرانگشتی و روش Cohen (۱۹۹۲) استفاده می‌شود. همچنین به منظور سنجش اعتبار پرسشنامه از روایی صوری و برای آزمون پایایی سازه‌های مدل تحلیل عاملی تأییدی از پایایی درونی، روایی همگرا و واگرا بهره گرفته خواهد شد. با عنایت به مطالب مطروحه پیرامون روش شناسی، شکل ۲ طرح پژوهش را به طور خلاصه نشان می‌دهد.



شکل ۲. چارچوب متالورژیک پیشنهادی

یافته‌ها

لازمه پذیرش و اجرای موفق سیستم تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران، در وهله نخست، شناخت و بومی‌سازی موانع و چالش‌های این سیستم است. مطابق با یافته‌های پژوهش‌های عسکری و همکاران (۱۴۰۴) بر اساس تحلیل محتوای کیفی ۲۹ مقاله منتخب (مطابق با دستورالعمل پریزما و ابزار برنامه مهارت‌های ارزیابی نقادانه) و کدگذاری باز و محوری محتوای مقالات در نرم افزار مکس کیودا، ۱۲ مضمون و ۴۵ کد به عنوان وجوه و چالش‌های متداول پذیرش و اجرای سیستم تولید پایدار در صنایع تولیدی احصاء شد (جدول ۲).

جدول ۲. چارچوب نظری نهایی وجوه و چالش‌های متداول پذیرش و اجرای سیستم تولید پایدار در صنایع تولیدی

| مضامین (وجوه) | کدها (چالش‌های متداول در پذیرش و اجرای سیستم تولید پایدار) | فرآوانی |
|---------------|--|---------|
| سازمانی (OR) | ارتباطات ضعیف داخلی و خارجی بین اعضا سازمان و شرکای زنجیره ارزش (OR1) | ۱۸ |
| | چشم انداز و راهبرد نامشخص در گذار به تولید پایدار (OR2) | ۶ |
| | نبود گواهینامه، استانداردهای فنی و مقررات معین برای تولید پایدار (OR3) | ۱۵ |
| | عدم تناسب فرهنگ، ساختار سازمانی و مدل کسب و کار فعلی با تولید پایدار (OR4) | ۱۸ |
| | فقدان معیارهای پایشی استاندارد و سیستم ارزیابی عملکرد (OR5) | ۱۵ |
| دولتی (GO) | نبود راهنمای مدون بومی برای پذیرش و پیاده‌سازی سیستم تولید پایدار (GO1) | ۵ |
| | عدم وجود مشوق و تخصیص رایانه برای گذار به تولید پایدار (GO2) | ۶ |
| | قانون گذاری ضعیف (GO3) | ۱۱ |
| | عدم برخورداری از خط مشی و حمایت دولتی (GO4) | ۱۸ |
| اطلاعاتی (IN) | چالش کیفیت، شفافیت، امنیت و اشتراک گذاری داده‌ها (IN1) | ۷ |
| | فقدان اطلاعات به روز در خصوص محصولات و منابع پایدار (IN2) | ۵ |
| | عدم آگاهی از مفهوم سیستم تولید پایدار و سازوکار پذیرش و اجرای آن (IN3) | ۲۵ |
| | عدم آگاهی مشتریان نسبت به مشخصه‌های محصول پایدار (IN4) | ۱۳ |
| مدیریتی (MA) | عدم حمایت، تعهد و علاقه مدیریت ارشد به تولید پایدار (MA1) | ۲۶ |
| | تخصص ناکافی مدیریت و رهبری سازمان در زمینه شیوه‌های تولید پایدار (MA2) | ۶ |
| بازار (MARK) | رقابت تنگاتنگ در بازار کسب و کار (MARK1) | ۹ |
| | عدم نگرانی و فشار از سوی جامعه در خصوص تولید محصولات پایدار (MARK2) | ۱۱ |
| | علاقه کم مشتریان و تقاضای غیرقطعی آنها از محصولات پایدار (MARK3) | ۲۰ |
| پیچیدگی (CO) | دشواری ارزیابی عملکرد سیستم تولید پایدار (CO1) | ۲ |
| | پیچیدگی‌های مدیریتی تولید پایدار (CO2) | ۳ |
| | پیچیدگی طراحی محصولات، فرآیندها و سیستم تولید پایدار (CO3) | ۱۰ |

| مضامین (وجوه) | کدها (چالش‌های متداول در پذیرش و اجرای سیستم تولید پایدار) | فرآوانی |
|---------------------|---|---------|
| خارجی (EX) | تأمین کنندگان غیرقابل اعتماد (EX1) | ۱۱ |
| | مقررات ناپایدار و جو سیاسی و اقتصادی متغیر (EX2) | ۷ |
| | وقفه‌ها و چالش‌های زنجیره تأمین (EX3) | ۶ |
| منابع انسانی (HR) | مقاومت در برابر تغییر (HR1) | ۲۱ |
| | کار تیمی ضعیف (HR2) | ۴ |
| | تعهد و مشارکت کم کارکنان (HR3) | ۹ |
| | فقدان سیستم پاداش و ترفیع برای کارکنان (HR4) | ۵ |
| | فقدان برنامه آموزشی مستمر و اثربخش برای کارکنان و مدیریت (HR5) | ۱۰ |
| محیط‌زیستی (EN) | نیروی کار کم مهارت برای تولید پایدار (HR6) | ۱۵ |
| | فقدان یا ضعف عملکرد سیستم‌های مدیریت محیط‌زیستی (EN1) | ۶ |
| اجتماعی (SO) | دسترسی محدود به منابع پایدار و انرژی‌های تجدیدپذیر (EN2) | ۱۱ |
| | فقدان یا ضعف مسئولیت اجتماعی شرکت (SO2) | ۶ |
| اقتصادی / مالی (EC) | نقشه راه نامنتطبق با موازین اجتماعی در پذیرش سیستم تولید پایدار (SO1) | ۳ |
| | هزینه قابل توجه دفع و بازیافت زباله‌های تولیدی (EC1) | ۱۱ |
| | هزینه بالای تولید، تأمین و بسته بندی پایدار (EC2) | ۱۵ |
| | محدودیت‌های مالی شرکت (EC3) | ۲۰ |
| | عدم قطعیت در سودآوری و هزینه‌های تولید پایدار (EC4) | ۱۴ |
| | دوره بازگشت سرمایه طولانی مدت سیستم تولید پایدار (EC5) | ۱۴ |
| | هزینه بالای سرمایه گذاری (EC6) | ۲۴ |
| فناوری (TE) | هزینه بالای نگهداری و تعمیرات فناوری‌های پایدار (EC7) | ۹ |
| | عدم دسترسی به فناوری‌های کم مصرف (TE1) | ۴ |
| | فقدان زیرساخت‌های نرم افزاری و سخت افزاری تولید پایدار (TE2) | ۲۲ |
| | فقدان دانش و تخصص فنی و فناوری (TE3) | ۷ |
| | عدم ارتقاء فناوری (ضعف در تحقیق و توسعه) (TE4) | ۴ |
| | | ۵۰۷ |

با توجه به این واقعیت که وجوه و چالش‌های پذیرش و اجرای سیستم‌های تولید پایدار در صنایع مختلف، متأثر از ماهیت فعالیت‌ها، سطح پیچیدگی فرایندهای تولیدی، شدت سرمایه‌بری، ساختار سازمانی، بلوغ فناورانه، الزامات نهادی و فشارهای محیطی و اجتماعی است، نمی‌توان این چالش‌ها را به صورت یک مجموعه همگن و جهان‌شمول در نظر گرفت. به‌ویژه در صنعت پتروشیمی که با فرایندهای پیوسته، ریسک‌های ایمنی و محیط‌زیستی بالا، فناوری‌های پیچیده و تعامل گسترده با نهادهای مقررات‌گذار مواجه است، الگوی بروز و

اهمیت نسبی چالش‌های تولید پایدار به‌طور معناداری با سایر صنایع متفاوت خواهد بود. از این رو، رویکردهای تک‌بعدی یا مدل‌سازی ساده‌انگارانه قادر به انعکاس واقع‌بینانه این پیچیدگی نیستند و نیاز به چارچوبی تحلیلی وجود دارد که بتواند هم‌زمان تنوع ابعاد و ویژگی‌های خاص صنعت را لحاظ کند. در این راستا، استفاده از تحلیل عاملی تأییدی مرتبه دوم به‌عنوان یک رویکرد ساختاریافته و نظریه‌محور، امکان مدل‌سازی چالش‌های سیستم تولید پایدار را در قالب یک سازه کلان سلسله‌مراتبی فراهم می‌سازد. در این چارچوب، وجوه مختلف چالش‌ها نظیر سازمانی، دولتی، اطلاعاتی، مدیریتی، بازار، پیچیدگی، خارجی، منابع انسانی، محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی/مالی و فناورانه، به‌عنوان سازه‌های مرتبه اول تعریف می‌شوند که هر یک به‌صورت بازتابی توسط مجموعه‌ای از گویه‌ها (چالش‌ها) عملیاتی شده‌اند. این مرحله، امکان پایش و ارزیابی دقیق هر وجه را به‌صورت مستقل فراهم می‌کند و به شناسایی الگوهای خاص بروز چالش‌ها در صنعت پتروشیمی منجر می‌شود. در سطح بالاتر، سازه «چالش‌های سیستم تولید پایدار» به‌عنوان یک سازه مرتبه دوم شکل‌گیرنده در نظر گرفته می‌شود که از ترکیب ابعاد مرتبه اول شکل می‌گیرد. این مشخص‌سازی به‌طور مستقیم با منطق بومی‌سازی سازگار است؛ زیرا فرض می‌کند که وضعیت کلی چالش‌ها در صنعت پتروشیمی برآیند شدت و ترکیب خاص هر یک از وجوه است، نه بازتاب یک عامل نهفته یکنواخت. در نتیجه، این مدل امکان غربال‌گری وجوه و چالش‌هایی را فراهم می‌کند که در بافت صنعت پتروشیمی نقش پررنگ‌تری در پذیرش و اجرای سیستم تولید پایدار دارند، در حالی که برخی دیگر ممکن است اهمیت کمتری داشته باشند یا حتی در برخی شرایط حذف‌پذیر باشند.

از منظر روش‌شناختی، مدل شکل‌گیرنده-بازتابی در تحلیل عاملی تأییدی مرتبه دوم این قابلیت را دارد که ناهمگونی، عدم تقارن و غیرقابل‌جایگزین بودن وجوه چالش‌ها را لحاظ کند؛ ویژگی‌ای که برای تحلیل پدیده‌های پیچیده و سیستمی مانند تولید پایدار در صنایع فرآیندی ضروری است. افزون بر این، برآورد وزن‌های شکل‌گیرنده وجوه مرتبه اول و بارهای عاملی چالش‌ها، امکان مقایسه چالش‌ها را بر مبنای شواهد تجربی فراهم می‌سازد و بدین ترتیب، نتایج پژوهش از سطح توصیف نظری فراتر رفته و به ابزاری برای تصمیم‌گیری مدیریتی و سیاست‌گذاری صنعتی تبدیل می‌شود.

در راستای پیاده‌سازی روش تحلیل عاملی تأییدی مرتبه دوم، پس از طراحی پرسشنامه مبتنی بر مفاد جدول ۲، از آن‌جا که ۴۵ چالش پذیرش و اجرای سیستم تولید پایدار در صنایع

تولیدی، گویه‌های پرسشنامه را تشکیل می دهند لذا طبق قاعده سرانگشتی، حداقل حجم نمونه خبرگی، ۲۲۵ نفر (معادل ۵ برابر تعداد گویه‌ها) خواهد بود. همچنین با استناد بر رویکرد کوهن (۱۹۹۲) در تعیین حداقل حجم نمونه، ملاحظه شد که با وجود ۱۲ رابطه بین سازه‌ای در مدل مفهومی (معادل تعداد وجوه) در سطح خطای ۵٪ (سطح اطمینان ۹۵٪) با حداقل ضریب تأثیر $(R^2=0.1)$ ، اندازه نمونه خبرگی ۲۲۵ نفری توجیه‌پذیر است. بنابراین، در این فاز از پژوهش، با نمونه‌گیری به شیوه غیرتصادفی در دسترس حداقل ۲۲۵ نفر از مدیران، سیاستگذاران و کارشناسان فعال در صنعت پتروشیمی ایران و همچنین اساتید و صاحب نظران دانشگاهی با پیشینه فعالیت در این صنعت و همچنین دانش و آگاهی نسبت به سیستم‌های تولیدی و فلسفه توسعه پایدار به عنوان نمونه خبرگی پژوهش برگزیده شدند.

برای پیش‌آزمون پایایی یا قابلیت اعتماد پرسشنامه، از مهم‌ترین شاخص‌سازی درونی یعنی آزمون آلفای کرونباخ استفاده شد. نتایج ضریب آلفای کرونباخ به تفکیک متغیرها و به طور کلی به صورت جدول ۳ حاصل گردید.

جدول ۳. سنجش پایایی پرسشنامه

| وجوه | تعداد گویه‌ها | ضریب آلفا |
|----------------|---------------|-----------|
| سازمانی | ۵ | ۰,۸۵۵ |
| دولتی | ۴ | ۰,۷۹۴ |
| اطلاعاتی | ۴ | ۰,۹۰۳ |
| مدیریتی | ۲ | ۰,۸۲۷ |
| بازار | ۳ | ۰,۸۰۲ |
| پیچیدگی | ۳ | ۰,۸۸۳ |
| خارجی | ۳ | ۰,۹۱ |
| منابع انسانی | ۶ | ۰,۹۲۹ |
| محیط‌زیستی | ۲ | ۰,۸۳۳ |
| اجتماعی | ۲ | ۰,۷۶۱ |
| اقتصادی / مالی | ۷ | ۰,۸۴۵ |
| فناوری | ۴ | ۰,۸۹ |
| کل | ۴۵ | ۰,۸۴۱ |

با توجه به نتایج ارائه شده در این جدول، ضریب آلفای کرونباخ کل پرسشنامه برابر با ۰,۸۴۱ حاصل شد که از حداقل مقدار قابل قبول ۰,۷ بالاتر است. این موضوع بیانگر آن است که پرسشنامه به طور کلی از میزان انسجام درونی مطلوب و سطح قابل قبولی از پایایی برخوردار می باشد. علاوه بر این، بررسی ضرایب آلفای کرونباخ برای هر یک از وجوه نیز نشان داد که تمامی مقادیر بیش از حد آستانه ۰,۷ هستند، که این امر مؤید اعتبار و انسجام درونی مناسب مقیاس های فرعی پرسشنامه است.

پس از ترسیم مدل مفهومی پژوهش در قالب مدل شکل گیرنده-بازتابی و ورود داده ها در نرم افزار اسمارت پی ال اس، اعتبارسنجی سازه های بازتابی با چهار شاخص اعم از: بارهای عاملی استاندارد شده، پایایی ترکیبی^۱ میانگین واریانس استخراج شده^۲ و روایی واگرا، انجام پذیرفت. جدول ۴ بارهای عاملی استاندارد شده چالش های هر یک از وجوه را به تفکیک نشان می دهد.

جدول ۴. بارهای عاملی استاندارد شده چالش های پذیرش و اجرای سیستم های تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران

| پسندیدگی | اقتصادی / مالی | محیط زیستی | خارجی | درونی | منابع انسانی | اطلاعاتی | مدیریتی | بازار | سازمانی | اجتماعی | فناوری |
|----------|----------------|------------|-------|-------|--------------|----------|---------|-------|---------|---------|--------|
| CO1 | ۰,۸۸۶ | | | | | | | | | | |
| CO2 | ۰,۹۲۲ | | | | | | | | | | |
| CO3 | ۰,۸۸۹ | | | | | | | | | | |
| EC1 | | ۰,۹۹۳ | | | | | | | | | |
| EC2 | | ۰,۷۳۳ | | | | | | | | | |
| EC3 | | ۰,۷۴۴ | | | | | | | | | |
| EC4 | | ۰,۵۷۹ | | | | | | | | | |
| EC5 | | ۰,۸۱۳ | | | | | | | | | |

^۱ Composite Reliability (CR)

^۲ Average Variance Extracted (AVE)

نتایج بارهای عاملی استاندارد شده نشان می‌دهد که تمامی گویه‌های مرتبط با چالش‌های پذیرش و اجرای سیستم‌های تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران دارای بارهای عاملی بالاتر از حداقل آستانه قابل قبول بوده و عمدتاً از مقدار مطلوب ۰,۷ فراتر رفته‌اند که این امر بیانگر روایی همگرایی مناسب و کفایت مدل اندازه‌گیری است. یکنواختی و بزرگی بارهای عاملی در جوهی مانند پیچیدگی، محیط‌زیستی، خارجی، مدیریتی، منابع انسانی و فناوری حاکی از درک شفاف و منسجم پاسخ‌دهندگان از این چالش‌ها است. گرچه در دو وجه اقتصادی/مالی و بازار، ۴ چالش اعم از هزینه قابل توجه دفع و بازیافت زباله‌های تولیدی (EC1)، عدم قطعیت در سودآوری و هزینه‌های تولید پایدار (EC4)، هزینه بالای نگهداری و تعمیرات فناوری‌های پایدار (EC7) و علاقه کم مشتریان و تقاضای غیرقطعی آن‌ها از محصولات پایدار (MARK3)، دارای بارهای عاملی مرزی هستند، اما با توجه به حفظ آستانه‌های حداقلی (۰,۵) و تأیید روایی همگرا در سطح سازه، این چالش‌ها همچنان از اعتبار لازم برخوردارند. در مجموع، الگوی به‌دست آمده نشان می‌دهد که ابزار پژوهش قادر است وجوه مختلف چالش‌های تولید پایدار را به‌صورت معتبر و قابل اتکا اندازه‌گیری کند و مبنای روش‌شناختی مناسبی برای مدل‌سازی مرتبه دوم باشد.

در ادامه فرآیند اعتبارسنجی سازه‌های بازتابی مدل تحلیل عاملی تأییدی مرتبه دوم، جدول ۵ وضعیت پایایی ترکیبی و میانگین واریانس استخراج‌شده وجوه را نشان می‌دهد.

جدول ۵. پایایی ترکیبی و میانگین واریانس استخراج‌شده وجوه چالش‌های پذیرش و اجرای سیستم‌های

تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران

| AVE | CR | وجوه |
|-------|-------|----------------|
| ۰,۶۳۴ | ۰,۸۹۶ | سازمانی |
| ۰,۶۱۷ | ۰,۸۶۶ | دولتی |
| ۰,۷۷۴ | ۰,۹۳۲ | اطلاعاتی |
| ۰,۸۳۷ | ۰,۹۱۱ | مدیریتی |
| ۰,۶۷۸ | ۰,۸۶ | بازار |
| ۰,۸۰۹ | ۰,۹۲۷ | پیچیدگی |
| ۰,۸۴۵ | ۰,۹۴۲ | خارجی |
| ۰,۷۳۷ | ۰,۹۴۴ | منابع انسانی |
| ۰,۸۵۶ | ۰,۹۲۲ | محیط‌زیستی |
| ۰,۷۹۹ | ۰,۸۸۸ | اجتماعی |
| ۰,۵۲۱ | ۰,۸۸۳ | اقتصادی / مالی |
| ۰,۷۵۳ | ۰,۹۲۴ | فناوری |

نتایج ارائه شده در جدول ۵ بیانگر وضعیت پایایی درونی و روایی همگرا و جوه مختلف چالش‌های پذیرش و اجرای سیستم‌های تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران است. بر اساس مقادیر پایایی ترکیبی، مشاهده می‌شود که تمامی وجوه مورد بررسی دارای مقادیری بالاتر از آستانه پیشنهادی ۰,۷ هستند که نشان‌دهنده پایایی درونی مطلوب و انسجام مناسب گویه‌ها در اندازه‌گیری هر سازه است. این یافته حاکی از آن است که گویه‌های هر وجه به‌طور هماهنگ و سازگار، مفهوم نهفته مربوط به چالش‌های پذیرش و اجرای سیستم‌های تولید پایدار را تبیین می‌کنند. مقادیر میانگین واریانس استخراج شده نتایج نشان می‌دهد که تمامی وجوه دارای مقادیری بالاتر از حداقل آستانه ۰,۵ هستند که این امر بیانگر برقراری روایی همگرا در تمامی سازه‌ها است. به بیان دیگر، هر یک از وجوه چالش‌ها قادرند بیش از نیمی از واریانس گویه‌های خود را تبیین کنند و این موضوع نشان‌دهنده کفایت بارهای عاملی و قدرت تبیینی مناسب شاخص‌ها است. در مجموع، هم‌زمانی مقادیر بالای شاخص‌های پایایی ترکیبی و میانگین واریانس استخراج شده در تمامی وجوه چالش‌ها نشان می‌دهد که مدل اندازه‌گیری پژوهش از نظر پایایی و روایی همگرا در سطح مطلوبی قرار دارد و ابزار مورد استفاده قادر است وجوه مختلف چالش‌های پذیرش و اجرای سیستم‌های تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران را با دقت و اعتبار کافی اندازه‌گیری کند.

بخش واپسین اعتبارسنجی سازه‌های بازتابی مدل تحلیل عاملی تأییدی مرتبه دوم به ارزیابی روایی واگرایی وجوه چالش‌های پذیرش و اجرای سیستم‌های تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران به روش فورنل و لارکر اختصاص دارد که یافته‌های این بخش به صورت جدول ۶ حاصل گردید.

جدول ۶. ماتریس سنجش روایی واگرایی وجوه چالش‌های پذیرش و اجرای سیستم‌های تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران با روش فورنل و لارکر

| TE | SO | OR | MARK | MA | IN | HR | GO | EX | EN | EC | CR | |
|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| | | | | | | | | | | | ۰,۸۹۹ | CR |
| | | | | | | | | | | ۰,۷۲۲ | ۰,۲۹۸ | EC |
| | | | | | | | | | ۰,۹۲۵ | ۰,۰۸۰ | -۰,۰۱۴ | EN |
| | | | | | | | | ۰,۹۱۹ | -۰,۱۳۹ | ۰,۱۲۵ | ۰,۱۸۲ | EX |
| | | | | | | | ۰,۷۸۶ | -۰,۱۵۰ | ۰,۲۶۲ | ۰,۱۳۴ | ۰,۰۹۹ | GO |
| | | | | | | ۰,۸۵۸ | ۰,۰۹۳ | -۰,۰۸۴ | ۰,۴۴۷ | ۰,۱۴۵ | ۰,۰۳۷ | HR |
| | | | | ۰,۸۸۰ | ۰,۲۲۸ | ۰,۰۷۰ | ۰,۲۱۵ | ۰,۰۲۶ | ۰,۲۴۷ | ۰,۲۷۸ | IN | |
| | | | | ۰,۹۱۵ | -۰,۱۳۳ | ۰,۲۱۵ | ۰,۲۲۰ | -۰,۱۸۶ | ۰,۱۸۱ | -۰,۰۱۶ | -۰,۰۹۸ | MA |
| | | | ۰,۸۲۴ | -۰,۰۸۵ | ۰,۰۶۵ | ۰,۰۵۹ | ۰,۰۴۵ | ۰,۱۶۳ | -۰,۰۱۴ | ۰,۰۵۴ | -۰,۰۶۴ | MARK |
| | | ۰,۷۹۶ | ۰,۰۵۴ | ۰,۱۴۱ | ۰,۰۸۹ | ۰,۱۶۰ | ۰,۰۳۸ | -۰,۰۵۴ | ۰,۲۸۵ | ۰,۰۴۹ | ۰,۰۱۷ | OR |
| | ۰,۸۹۴ | ۰,۰۰۴ | -۰,۰۰۴ | -۰,۰۴۵ | ۰,۰۸۳ | ۰,۱۲۰ | -۰,۰۶۷ | -۰,۰۹۱ | ۰,۱۰۰ | -۰,۰۶۷ | -۰,۱۳۸ | SO |
| ۰,۸۶۸ | ۰,۰۶۹ | ۰,۱۷۲ | -۰,۰۶۸ | ۰,۱۰۱ | ۰,۰۹۰ | ۰,۲۶۵ | ۰,۱۵۶ | -۰,۰۷۲ | ۰,۴۱۹ | ۰,۰۹۸ | -۰,۰۶۴ | TE |

نتایج ارائه شده در ماتریس فورنل و لارکر بیانگر تأیید روایی و اگری و جوه چالش‌های پذیرش و اجرای سیستم‌های تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران است. مطابق این معیار، مقدار جذر میانگین واریانس استخراج شده هر سازه که در قطر اصلی ماتریس گزارش شده، در تمامی موارد بزرگ‌تر از ضرایب همبستگی آن سازه با سایر وجوه است. این الگو به روشنی بیانگر آن است که هر یک از وجوه چالش‌ها، علی‌رغم وجود همبستگی‌های منطقی و محدود با برخی ابعاد دیگر، از تمایز مفهومی کافی برخوردار بوده و سازه‌ها قادرند پدیده‌های متمایزی را در چارچوب چالش‌های تولید پایدار تبیین کنند. همچنین، پایین بودن ضرایب همبستگی بین اغلب وجوه و حتی منفی بودن برخی از آن‌ها نشان می‌دهد که هم‌پوشانی مفهومی قابل توجهی میان سازه‌ها وجود ندارد و خطر هم‌خطی یا ادغام ناخواسته ابعاد متنفی است. در مجموع، نتایج این آزمون حاکی از آن است که مدل اندازه‌گیری پژوهش از نظر روایی و اگر در سطح مطلوبی قرار دارد و می‌توان با اطمینان از استقلال نسبی وجوه مختلف، آن‌ها را در تحلیل‌های بعدی و مدل‌سازی مرتبه دوم به کار گرفت.

در ادامه، اعتبارسنجی سازه‌های شکل‌گیرنده مدل، از دو مسیر (۱) بررسی هم‌خطی بین ابعاد مرتبه اول (با استفاده از ضریب تورم واریانس^۱ و ۲) معناداری و اهمیت وزن‌های شکل‌گیرنده، انجام گرفته است. با پیاده‌سازی الگوریتم پی‌ال‌اس، ضریب تورم واریانس بین وجوه مرتبه اول به صورت جدول ۷ حاصل گردید.

به‌طور خلاصه، ضریب تورم واریانس نشان می‌دهد که واریانس برآورد یک ضریب تا چه حد به دلیل همبستگی آن با سایر متغیرهای مستقل متورم شده است. هرچه مقدار این ضریب بزرگ‌تر باشد، شدت هم‌خطی بیشتر است. معمولاً مقادیر کمتر از ۵ (و در برخی منابع محافظه‌کارانه‌تر، کمتر از ۳,۳) به‌عنوان حد قابل قبول در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۷. بررسی هم‌خطی بین وجوه مرتبه اول

| چالش‌ها | ضریب تورم واریانس | چالش‌ها | ضریب تورم واریانس | چالش‌ها | ضریب تورم واریانس |
|---------|-------------------|---------|-------------------|---------|-------------------|
| CO۱ | ۲.۴۲۴ | GO۱ | ۱.۸۵۷ | MA۲ | ۱.۹۸۸ |
| CO۲ | ۲.۵۷۸ | GO۲ | ۱.۴۸۶ | Mark۱ | ۱.۸۹۵ |
| CO۳ | ۲.۴۴۳ | GO۳ | ۱.۶۵۸ | Mark۲ | ۱.۹۶۲ |
| EC۱ | ۱.۵۲۴ | GO۴ | ۱.۴۹۲ | Mark۳ | ۱.۵۱۶ |
| EC۲ | ۱.۷۱۷ | HR۱ | ۲.۸۱۴ | OR۱ | ۲.۰۴۴ |
| EC۳ | ۱.۶۹۶ | HR۲ | ۳.۲۸۷ | OR۲ | ۱.۶۴۶ |

^۱ Variance Inflation Factor (VIF)

| چالش‌ها | ضرب تورم واریانس | چالش‌ها | ضرب تورم واریانس | چالش‌ها | ضرب تورم واریانس |
|---------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|
| EC۴ | ۱.۳۸۰ | HR۳ | ۲.۵۳۷ | OR۳ | ۱.۷۱۴ |
| EC۵ | ۲.۰۸۱ | HR۴ | ۳.۴۵۹ | OR۴ | ۱.۹۱۲ |
| EC۶ | ۲.۰۵۷ | HR۵ | ۲.۸۵۷ | OR۵ | ۱.۹۲۱ |
| EC۷ | ۱.۵۳۴ | HR۶ | ۲.۶۱۵ | SO۱ | ۱.۶۰۵ |
| EN۱ | ۲.۰۳۷ | IN۱ | ۳.۰۸۹ | SO۲ | ۱.۶۰۵ |
| EN۲ | ۲.۰۳۷ | IN۲ | ۲.۳۰۷ | TE۱ | ۲.۶۲۹ |
| EX۱ | ۳.۲۰۲ | IN۳ | ۲.۶۸۵ | TE۲ | ۲.۹۵۰ |
| EX۲ | ۲.۹۸۵ | IN۴ | ۳.۰۰۲ | TE۳ | ۲.۹۱۴ |
| EX۳ | ۲.۹۵۷ | MA۱ | ۱.۹۸۸ | TE۴ | ۲.۱۱۰ |

بر اساس نتایج این جدول ملاحظه می‌شود که مقادیر ضریب تورم واریانس کمتر از ۵ (و حتی بر اساس رویکرد محافظه کارانه‌تر، کمتر از ۳,۳) بیانگر نبود مشکل جدی هم‌خطی هستند. بنابراین هیچ‌یک از گویه‌های وجوه مرتبه اول (چالش‌ها) با مشکل هم‌خطی بحرانی مواجه نیستند و هر چالش سهم متمایز و مستقلی در تبیین وجه مربوط به خود ایفا می‌کند. بنابراین، ساختار اندازه‌گیری پژوهش از منظر هم‌خطی در وضعیت مطلوبی قرار دارد و استفاده از این سازه‌ها برای برآورد مدل مرتبه دوم و تحلیل‌های بعدی، از نظر آماری و روش‌شناختی کاملاً قابل اتکا است. در مدل‌های شکل‌گیرنده، وجوه مرتبه اول علت شکل‌گیری سازه نهفته هستند؛ بنابراین، برخلاف سازه‌های بازتابی، وزن‌ها، معیار اصلی اهمیت هر چالش پذیرش و اجرای سیستم تولید پایدار محسوب می‌شوند، نه بارهای عاملی. هر وزن نشان می‌دهد که آن چالش مشروط بر کنترل سایر چالش‌ها تا چه اندازه به‌صورت منحصربه‌فرد در تبیین سازه کلان نقش دارد. از آن‌جا که وزن‌های شکل‌گیرنده دارای توزیع نرمال مفروض نیستند، آزمون معناداری آن‌ها صرفاً از طریق بوت استرپینگ امکان‌پذیر است. لذا با انجام فرمان بوت استرپینگ، وزن چالش‌ها در شکل‌گیری سازه مرتبه دوم به صورت جدول ۸ حاصل گردید.

با توجه به نتایج، ملاحظه می‌شود که اکثریت قریب به اتفاق اوزان سازه‌های مرتبه اول (وجوه) دارای آماره تی بزرگ‌تر از ۱,۹۶ و مقادیر پی کمتر از ۰,۰۵ هستند؛ بدین معنا که این وجوه به‌صورت معنادار و علی در شکل‌گیری سازه مرتبه دوم (سازه کلان) «چالش‌های سیستم‌های تولید پایدار» نقش آفرینی می‌کنند. این یافته تأیید می‌کند که سازه مرتبه دوم، بازتاب یک عامل واحد نیست، بلکه حاصل ترکیب هم‌زمان مجموعه‌ای از وجوه متمایز و مکمل است؛ امری که منطبق استفاده از مدل شکل‌گیرنده مرتبه دوم را از نظر مفهومی و

روش شناختی توجیه می‌کند. به‌طور مشخص، وجوه پیچیدگی، اقتصادی-مالی، محیط‌زیستی، بیرونی، دولتی، منابع انسانی، اطلاعاتی، سازمانی و فناوری، همگی دارای اوزان مثبت و معنادار هستند که نشان‌دهنده سهم منحصربه‌فرد هر یک از این وجوه در تبیین چالش‌های سیستم‌های تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران است. مقادیر بالای آماره تی در برخی وجوه مانند محیط زیستی، منابع انسانی و اطلاعاتی، بیانگر اهمیت ساختاری بالاتر این وجوه در مقایسه با سایر وجوه بوده و حساسیت سیستم تولید پایدار به این عوامل بالاتر است.

در مقابل، نتایج مربوط به برخی از چالش‌ها در وجوه مدیریتی (مانند: MA2)، بازار (مانند: Mark1 و Mark3) و اجتماعی (مانند: SO1) نشان می‌دهد که وزن آن‌ها از نظر آماری معنادار نیست (مقدار آماره تی > ۱,۹۶). از آنجا که در مدل‌های شکل‌گیرنده، گویه‌ها الزاماً همبسته یا هم‌معنا نیستند، عدم معناداری برخی شاخص‌ها به منزله ضعف کل وجه یا مدل نیست؛ بلکه نشان می‌دهد که این چالش‌ها در حضور سایر چالش‌ها، سهم محدودتری در شکل‌گیری سازه مرتبه دوم دارند. بنابراین به زعم خبرگان، از ۴۵ چالش شناسایی‌شده در پذیرش و اجرای سیستم‌های تولید پایدار در صنایع تولیدی، ۴۱ مورد برای صنعت پتروشیمی ایران موضوعیت دارد.

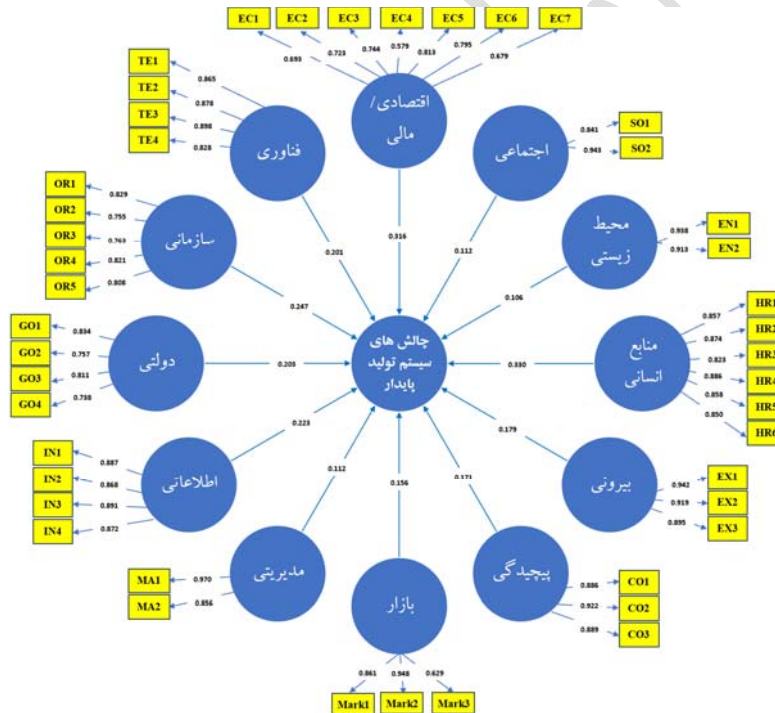
در مجموع، نتایج تحلیل اوزان شکل‌گیرنده حاکی از آن است که مدل‌سازی «چالش‌های سیستم‌های تولید پایدار» به‌صورت یک سازه مرتبه دوم شکل‌گیرنده کاملاً موجه و معتبر است و وجوه مرتبه اول، هر یک به‌عنوان مؤلفه‌های علی، نقش مشخص، معنادار و غیرقابل جایگزینی در تبیین این پدیده پیچیده ایفا می‌کنند. این نتایج از اعتبار ساختاری، کفایت روش شناختی و انسجام نظری مدل پیشنهادی حمایت قوی به عمل می‌آورد.

جدول ۸ وزن چالش‌های پذیرش و اجرای سیستم تولید پایدار در شکل‌گیری سازه مرتبه دوم

| P Values | آماره t | | P Values | آماره t | |
|----------|---------|--|----------|---------|--|
| ۰,۰۰۰ | ۱۲,۴۹۵ | HR5 <--- چالش‌های سیستم‌های تولید پایدار | ۰,۰۰۰ | ۵,۹۲۲ | CO1 <--- چالش‌های سیستم‌های تولید پایدار |
| ۰,۰۰۰ | ۱۲,۰۳۸ | HR6 <--- چالش‌های سیستم‌های تولید پایدار | ۰,۰۰۰ | ۶,۹۲۵ | CO2 <--- چالش‌های سیستم‌های تولید پایدار |
| ۰,۰۰۰ | ۹,۷۷۹ | IN1 <--- چالش‌های سیستم‌های تولید پایدار | ۰,۰۰۰ | ۶,۰۷ | CO3 <--- چالش‌های سیستم‌های تولید پایدار |
| ۰,۰۰۰ | ۸,۴۳۴ | IN2 <--- چالش‌های سیستم‌های تولید پایدار | ۰,۰۰۰ | ۷,۹۷۹ | EC1 <--- چالش‌های سیستم‌های تولید پایدار |
| ۰,۰۰۰ | ۱۰,۶۰۳ | IN3 <--- چالش‌های سیستم‌های تولید پایدار | ۰,۰۰۰ | ۶,۴۲ | EC2 <--- چالش‌های سیستم‌های تولید پایدار |

| P Values | آماره t | | P Values | آماره t | |
|----------|---------|--|----------|---------|--|
| ۰,۰۰۰ | ۹,۸۵۳ | IN4 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار | ۰,۰۰۰ | ۷,۹۶۶ | EC3 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار |
| ۰,۰۰۰ | ۳,۷۹۲ | MA1 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار | ۰,۰۰۰ | ۴,۳۹۹ | EC4 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار |
| ۰,۱۴۱ | ۱,۴۷۴ | MA2 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار | ۰,۰۰۰ | ۱۰,۴۶۵ | EC5 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار |
| ۰,۰۶۰ | ۱,۸۸۶ | Mark1 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار | ۰,۰۰۰ | ۸,۰۸۴ | EC6 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار |
| ۰,۰۰۵ | ۲,۸۱۸ | Mark2 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار | ۰,۰۰۰ | ۷,۳۶۶ | EC7 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار |
| ۰,۷۶۸ | ۰,۲۹۵ | Mark3 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار | ۰,۰۰۰ | ۶,۵۹۲ | EN1 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار |
| ۰,۰۰۰ | ۷,۸۳۳ | OR1 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار | ۰,۰۰۰ | ۶,۳۱۴ | EN2 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار |
| ۰,۰۰۰ | ۶,۴۹۶ | OR2 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار | ۰,۰۰۰ | ۳,۶۵۷ | EX1 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار |
| ۰,۰۰۰ | ۶,۴۶۵ | OR3 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار | ۰,۰۰۰ | ۳,۷۲۲ | EX2 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار |
| ۰,۰۰۰ | ۸,۵۱۹ | OR4 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار | ۰,۰۰۳ | ۳,۰۲۱ | EX3 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار |
| ۰,۰۰۰ | ۶,۳۵۲ | OR5 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار | ۰,۰۰۰ | ۵,۰۰۶ | GO1 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار |
| ۰,۲۲۴ | ۱,۲۱۸ | SO1 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار | ۰,۰۰۰ | ۵,۴۱۶ | GO2 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار |
| ۰,۰۲۹ | ۲,۱۹۱ | SO2 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار | ۰,۰۰۰ | ۵,۷۲۲ | GO3 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار |
| ۰,۰۰۰ | ۷,۰۷۱ | TE1 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار | ۰,۰۰۰ | ۴,۶۰۲ | GO4 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار |
| ۰,۰۰۰ | ۷,۸۷۸ | TE2 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار | ۰,۰۰۰ | ۱۲,۳۷۳ | HR1 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار |
| ۰,۰۰۰ | ۷,۲۵۵ | TE3 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار | ۰,۰۰۰ | ۱۳,۰۸۲ | HR2 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار |
| ۰,۰۰۰ | ۷,۳۰۹ | TE4 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار | ۰,۰۰۰ | ۱۰,۷۴۴ | HR3 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار |
| | | | ۰,۰۰۰ | ۱۲,۲۴۳ | HR4 <--- چالش های سیستم های تولید پایدار |

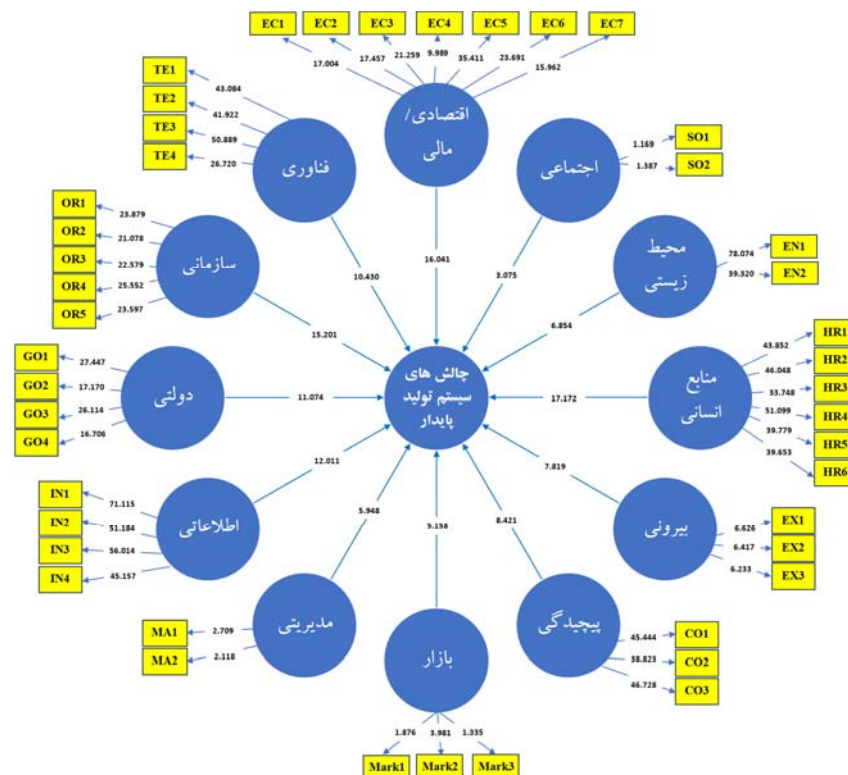
همان‌طور که عنوان شد، در مدل‌های تحلیل عاملی تأییدی مرتبه دوم از نوع شکل گیرنده-بازتابی، سازه کلان (چالش‌های سیستم‌های تولید پایدار) توسط وجوه ساخته می‌شود. در این گونه از مدل‌ها ضرایب مسیر از وجه به سازه کلان نشان‌دهنده قدرت مشارکت یا وزن آن وجه در شکل‌گیری سازه کلان است، نه «تأثیر» به معنای کلاسیک. بنابراین، در این بخش با استفاده از نتایج حاصل از الگوریتم پی‌ال‌اس و فرمان بوت استرپینگ، سهم نسبی و اهمیت هر یک از وجوه سازه در شکل‌دهی سازه کلان ارائه می‌شود. این تحلیل، دیدی کمی و دقیق از ساختار سازه فراهم می‌کند. با برآزش مدل از طریق پیاده‌سازی الگوریتم پی‌ال‌اس، ضرایب مسیر به صورت شکل ۳ حاصل گردید.



شکل ۳. ضرایب مسیر وجوه و مقادیر بارهای عاملی چالش‌ها

همچنین، اجرای فرمان بوت استرپینگ این امکان را می‌دهد تا ثبات و معنی‌داری ضرایب مسیر از وجوه به سازه کلان قابل ارزیابی شود و به شکل آماری تعیین شود که کدام وجوه سهم معناداری در تشکیل سازه کلان دارند. با اجرای این فرمان، ضرایب معناداری محاسبه

شده و بر روی مسیرهای مدل نمایش داده می‌شوند (شکل ۴). مقادیر آماره تی نشان می‌دهد که هر وجه چه میزان نقش در ایجاد سازه کلان ایفا میکند. آماره تی بزرگتر از ۱,۹۶ برای مسیر یک وجه بر روی سازه کلان نشان‌دهنده این است که آن وجه، نقش معناداری در شکل‌گیری سازه کلان دارد.



شکل ۴. مقادیر آماره تی برای ارزیابی معناداری سهم وجوه در شکل‌گیری سازه کلان

ملاحظه می‌شود که تمام ضرایب مسیر مربوط به وجوه دارای مقدار آماره تی بالاتر از ۱,۹۶ هستند، که حاکی از معناداری آماری تمام مسیرها در سطح اطمینان ۹۵ درصد است. به عبارت دیگر، نتایج حاصله نشان می‌دهد که تمامی وجوه مورد بررسی (اعم از: مدیریتی، پیچیدگی، سازمانی، دولتی و غیره) نقش معنادار و قابل توجهی در تشکیل سازه کلان دارند و حذف هیچ یک از آنها بدون کاهش اعتبار سازه کلان قابل توجه نیست. همچنین، معناداری تمامی مسیرها

نشان می‌دهد که مدل مرتبه دوم شکل‌گیرنده از نظر ساختاری مناسب و معتبر است و وجوه انتخاب شده به درستی، سازه کلان را تشکیل می‌دهند. از منظر نظری نیز صحت انتخاب وجوه برای مدل‌سازی سازه کلان تأیید شده و پایه محکمی برای تحلیل‌های بعدی فراهم می‌کند. اگرچه تمام مسیرهای وجوه به سازه کلان از نظر آماری معنادار هستند (مقدار آماره تی < 1,96)، مقادیر متفاوت ضرایب مسیر نشان می‌دهد که هر وجه سهم متفاوتی در شکل‌گیری سازه کلان دارد. وجوه با ضریب مسیر بزرگ‌تر نقش مهم‌تر و تأثیر بیشتری در تشکیل سازه کلان ایفا می‌کنند، در حالی که وجوه با ضریب مسیر کمتر نقش تکمیلی و کم‌اثر دارند. این یافته‌ها امکان اولویت‌بندی وجوه و تحلیل وزن نسبی آن‌ها در سازه کلان را فراهم می‌کند. بر این اساس، سه وجه منابع انسانی، مالی/اقتصادی و سازمانی به ترتیب با ضرایب مسیر 0,33، 0,316 و 0,247 محوری تری وجوه چالشی در پذیرش و اجرای سیستم تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران به حساب می‌آیند.

بحث و نتیجه‌گیری

گذار به سوی تولید پایدار، به‌ویژه در صنایع تولیدی کلیدی و سرمایه‌بر نظیر صنعت پتروشیمی، دیگر یک انتخاب راهبردی اختیاری نیست، بلکه ضرورتی اجتناب‌ناپذیر برای حفظ رقابت‌پذیری، تاب‌آوری عملیاتی و همسویی با الزامات توسعه پایدار در مقیاس ملی و بین‌المللی محسوب می‌شود. ماهیت فعالیت‌های بالادستی و پایین‌دستی صنعت پتروشیمی، همراه با مصرف بالای انرژی، انتشار قابل توجه آلاینده‌ها، ریسک‌های ایمنی و محیط‌زیستی و تعامل گسترده با نهادهای مقررات‌گذار، پذیرش سیستم‌های تولید پایدار را در کانون توجه سیاست‌های پایداری این صنعت قرار داده است. با این حال، پذیرش چنین سیستمی، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، با مجموعه‌ای پیچیده از چالش‌ها همراه است که بدون شناسایی و تحلیل نظام‌مند آن‌ها، دستیابی به اهداف پایداری میسر نیست. بر همین اساس، پژوهش حاضر با هدف شناسایی، سازماندهی و بومی‌سازی چالش‌های پذیرش و اجرای سیستم‌های تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران طراحی و اجرا شد.

ادبیات تحقیق موجود، عمدتاً به‌صورت پراکنده و جزءنگر به بررسی این چالش‌ها پرداخته و کمتر شاهد چارچوبی جامع و ساختارمند برای تحلیل هم‌زمان ابعاد مختلف این پدیده بوده‌ایم. این خلأ پژوهشی، ضرورت بهره‌گیری از رویکردی نظام‌مند را توجیه می‌کند؛ رویکردی که بتواند پیچیدگی ذاتی صنعت پتروشیمی و تنوع چالش‌های مؤثر بر

پذیرش تولید پایدار را به‌طور واقع‌بینانه بازنمایی کند. در این راستا، ترکیب رویکرد فراترکیب با تحلیل عاملی تأییدی مرتبه دوم، امکان‌گذار از سطح شناسایی صرف چالش‌ها به سطح مدل‌سازی ساختاری آن‌ها را فراهم ساخت. نتایج فراترکیب به شناسایی ۴۵ چالش در قالب ۱۲ وجه اصلی منجر شد که بیانگر ماهیت چندبعدی و درهم‌تنیده چالش‌های تولید پایدار بود. با انجام مطالعات میدانی و پیاده‌سازی رویکرد تحلیل عاملی مرتبه دوم، مشخص شد که ۴۱ مورد از این چالش‌ها برای صنعت پتروشیمی ایران موضوعیت عملی دارند؛ یافته‌ای که بر ضرورت بومی‌سازی چالش‌ها و پرهیز از تعمیم ساده‌انگارانه نتایج مطالعات خارجی تأکید می‌کند. اعتبارسنجی مدل اندازه‌گیری نشان داد که گویه‌های مرتبط با وجوه مختلف چالش‌ها از روایی همگرا و واگرایی مناسب و پایایی درونی مطلوب برخوردارند. این امر حاکی از آن است که پاسخ‌دهندگان، درک منسجم و نسبتاً همسانی از مفاهیم مرتبط با چالش‌های تولید پایدار داشته‌اند؛ به‌ویژه در وجوهی نظیر پیچیدگی، محیط‌زیستی، منابع انسانی، اطلاعاتی و فناوری که یکنواختی بارهای عاملی نشان‌دهنده وضوح ادراکی بالاتر این چالش‌ها در ذهن خبرگان صنعت است. در عین حال، مرزی بودن برخی بارهای عاملی در وجوه اقتصادی-مالی و بازار را می‌توان بازتابی از عدم قطعیت‌های اقتصادی، نوسانات بازار و ابهام در بازگشت سرمایه پروژه‌های پایدار در صنعت پتروشیمی ایران دانست؛ مسائلی که خود بخشی از واقعیت‌های ساختاری این صنعت محسوب می‌شوند.

نتایج تحلیل سازه مرتبه دوم با ساختار شکل‌گیرنده-بازتابی، تصویری دقیق‌تر از منطق شکل‌گیری «چالش‌های سیستم‌های تولید پایدار» ارائه نمود. معناداری آماری اکثریت قریب به اتفاق اوزان وجوه مرتبه اول نشان داد که این سازه کلان نه بازتاب یک‌عامل واحد، بلکه حاصل ترکیب هم‌زمان مجموعه‌ای از ابعاد متمایز و مکمل است. به بیان دیگر، چالش‌های تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران ماهیتی سیستمی دارند و نمی‌توان آن‌ها را صرفاً به یک حوزه خاص نظیر فناوری یا محیط زیست تقلیل داد. وجوهی نظیر پیچیدگی فرایندها، الزامات محیط زیستی، محدودیت‌های نهادی و حاکمیتی، فشارهای بیرونی، ضعف زیرساخت‌های اطلاعاتی و چالش‌های سازمانی، همگی به‌صورت علی در شکل‌گیری این پدیده نقش دارند.

تحلیل ضرایب مسیر و اوزان شکل‌گیرنده امکان اولویت‌بندی وجوه چالشی را فراهم ساخت. بر این اساس، سه وجه منابع انسانی، اقتصادی/مالی و سازمانی به‌عنوان محوری‌ترین چالش‌ها در پذیرش و اجرای سیستم‌های تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران شناسایی

شدند. برجستگی بعد منابع انسانی نشان می‌دهد که موفقیت گذار به تولید پایدار، بیش از هر چیز، به توانمندی‌های انسانی، مهارت‌ها، نگرش‌ها و آمادگی نیروی کار و مدیران وابسته است. کمبود دانش تخصصی، مقاومت در برابر تغییر، ضعف فرهنگ سازمانی پشتیبان پایداری و محدودیت‌های آموزشی، می‌تواند حتی پیشرفته‌ترین فناوری‌های پایدار را نیز ناکارآمد سازد. از سوی دیگر، اهمیت بعد اقتصادی-مالی بازتابی از سرمایه‌بر بودن پروژه‌های پتروشیمی، عدم قطعیت در سودآوری کوتاه‌مدت فناوری‌های پایدار و محدودیت‌های تأمین مالی در شرایط اقتصادی خاص کشور است. بعد سازمانی نیز نشان می‌دهد که ساختارهای تصمیم‌گیری، هماهنگی بین واحدها، نظام‌های انگیزشی و میزان تعهد مدیریت ارشد، نقشی تعیین‌کننده در موفقیت یا شکست استقرار تولید پایدار دارند.

این نتیجه با بخش قابل توجهی از ادبیات پژوهش در حوزه تولید پایدار همراستا است. به‌عنوان نمونه، نتایج پژوهش بتوارا و همکاران (۲۰۲۴) نیز نشان می‌دهد که موانع سازمانی از جمله ضعف ارتباطات داخلی و خارجی در سازمان و میان شرکای زنجیره ارزش، نبود چشم‌انداز و راهبرد مشخص برای گذار به تولید پایدار، فقدان استانداردها و مقررات مشخص، و همچنین عدم تطابق فرهنگ و ساختار سازمانی با الزامات تولید پایدار از مهم‌ترین چالش‌های پیاده‌سازی این رویکرد به شمار می‌روند. همچنین در بعد منابع انسانی، عواملی نظیر مقاومت کارکنان در برابر تغییر و کمبود نیروی کار دارای مهارت‌های مرتبط با تولید پایدار به‌عنوان موانع کلیدی مطرح شده‌اند. در بعد اقتصادی/مالی نیز مسائلی مانند هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پایدار، هزینه‌های مرتبط با بازیافت و مدیریت پسماند، محدودیت‌های مالی شرکت‌ها و طولانی بودن دوره بازگشت سرمایه به‌عنوان چالش‌های مهم گزارش شده‌اند. افزون بر این، نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های Niewiadomski و Stachowiak (۲۰۲۴) نیز همسو است؛ به‌گونه‌ای که این پژوهشگران نیز به اهمیت چالش‌های سازمانی نظیر فقدان معیارهای استاندارد پایش و سیستم‌های ارزیابی عملکرد، چالش‌های منابع انسانی شامل ضعف کار تیمی، مشارکت پایین کارکنان، نبود نظام انگیزشی و برنامه‌های آموزشی مستمر و همچنین عدم قطعیت اقتصادی و مالی در سودآوری تولید پایدار اشاره کرده‌اند. در همین راستا، نتایج مطالعه Debnath و همکاران (۲۰۲۴) نیز مؤید اهمیت بعد اقتصادی/مالی است و بر هزینه‌های بالای نگهداری و تعمیرات فناوری‌های پایدار به‌عنوان یکی از موانع اصلی در مسیر استقرار تولید پایدار تأکید دارد. همگرایی نتایج پژوهش

حاضر با این مطالعات نشان می‌دهد که چالش‌های انسانی، سازمانی و مالی نه تنها در سطح جهانی بلکه در بستر صنعت پتروشیمی ایران نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در موفقیت یا عدم موفقیت پیاده‌سازی سیستم‌های تولید پایدار ایفا می‌کنند.

در مقابل، عدم معناداری آماری برخی چالش‌ها در وجوه مدیریتی، بازار و اجتماعی، به‌ویژه در حضور سایر ابعاد، بیانگر آن است که این مؤلفه‌ها سهم منحصربه‌فرد کمتری در تبیین سازه کلان دارند، نه آن‌که فاقد اهمیت باشند. در مدل‌های شکل‌گیرنده، چنین وضعیتی امری متعارف است و می‌تواند ناشی از هم‌پوشانی مفهومی یا اثرگذاری غیرمستقیم این چالش‌ها از طریق سایر وجوه باشد. حفظ این مؤلفه‌ها، با توجه به پشتوانه نظری و روایی محتوایی، به انسجام مفهومی مدل کمک کرده و تصویر کامل‌تری از واقعیت پیچیده صنعت ارائه می‌دهد.

با عنایت به یافته‌های پژوهش، پیشنهاد می‌شود که شرکت‌های فعال در صنعت پتروشیمی ایران به منظور گذار موفقیت‌آمیز در پذیرش و کاربست سیستم‌های تولید پایدار، اقدامات زیر را در دستور کار قرار دهند:

۱. تدوین نقشه‌راه سازمانی برای گذار به تولید پایدار در شرکت‌های پتروشیمی شرکت‌های پتروشیمی می‌توانند با تدوین یک نقشه‌راه عملیاتی تولید پایدار در سطح سازمان، چالش‌های ساختاری و راهبردی را کاهش دهند. این نقشه‌راه باید شامل تعیین چشم‌انداز تولید پایدار، تعریف اهداف کوتاه‌مدت و بلندمدت، تعیین شاخص‌های ارزیابی عملکرد پایداری و ایجاد سازوکار پایش و گزارش‌دهی باشد.
۲. توسعه برنامه‌های آموزشی و توانمندسازی نیروی انسانی در حوزه تولید پایدار با توجه به نقش پررنگ چالش‌های منابع انسانی، پیشنهاد می‌شود شرکت‌های پتروشیمی برنامه‌های آموزشی ساختاریافته و مستمر برای مدیران، کارشناسان و کارکنان عملیاتی در حوزه تولید پایدار طراحی و اجرا کنند. این برنامه‌ها می‌تواند شامل آموزش فناوری‌های پاک، مدیریت انرژی، اقتصاد چرخشی، کاهش ضایعات و بهینه‌سازی مصرف منابع باشد. علاوه بر این، ایجاد نظام‌های انگیزشی، پاداش و ارزیابی عملکرد مبتنی بر شاخص‌های پایداری می‌تواند مشارکت کارکنان در اجرای اقدامات پایدار را افزایش دهد.
۳. طراحی سازوکارهای مالی و سرمایه‌گذاری برای حمایت از پروژه‌های تولید پایدار

از آنجا که هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عدم قطعیت بازگشت سرمایه از چالش‌های مهم اقتصادی/مالی هستند، شرکت‌های پتروشیمی می‌توانند با ایجاد صندوق‌های داخلی، نوآوری و پایداری یا تخصیص بودجه مشخص برای پروژه‌های بهبود بهره‌وری انرژی، کاهش انتشار آلاینده‌ها و بازیافت مواد، ریسک مالی این پروژه‌ها را کاهش دهند. همچنین استفاده از مدل‌های تأمین مالی مشارکتی و مشوق‌های مالیاتی یا تسهیلات سبز می‌تواند اجرای پروژه‌های تولید پایدار را تسهیل کند.

۴. تقویت همکاری‌های بین‌سازمانی و زنجیره ارزش برای توسعه بازار محصولات پایدار با توجه به چالش‌های بازار و عوامل خارجی، شرکت‌های پتروشیمی می‌توانند از طریق ایجاد همکاری‌های راهبردی با تأمین‌کنندگان، مشتریان، مراکز پژوهشی و نهادهای دولتی زمینه توسعه فناوری‌های پایدار و بازار محصولات کم‌کربن یا سازگار با محیط‌زیست را فراهم کنند. توسعه پروژه‌های مشترک تحقیق و توسعه، استانداردسازی محصولات پایدار و ایجاد گواهی‌های زیست‌محیطی می‌تواند به افزایش پذیرش بازار و بهبود مزیت رقابتی شرکت‌ها در مسیر گذار به تولید پایدار کمک کند.

یافته‌های این پژوهش از منظر کاربردی پیامدهای مهمی برای مدیران، سیاست‌گذاران و کارشناسان صنعت پتروشیمی دارد. برای مدیران صنعتی، نتایج نشان می‌دهد که تمرکز صرف بر سرمایه‌گذاری فناورانه بدون توجه به توسعه سرمایه انسانی، اصلاح ساختارهای سازمانی و طراحی نظام‌های انگیزشی همسو با پایداری، نمی‌تواند به استقرار موفق سیستم‌های تولید پایدار منجر شود. برای سیاست‌گذاران، ضرورت تدوین سیاست‌های حمایتی مالی، مشوق‌های اقتصادی، چارچوب‌های مقرراتی پایدار و توسعه زیرساخت‌های نهادی بیش از پیش آشکار می‌شود. همچنین، برای کارشناسان تولید و برنامه‌ریزان صنعتی، این چارچوب می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی وضعیت موجود، اولویت‌بندی مداخلات و طراحی نقشه راه گذار به تولید پایدار مورد استفاده قرار گیرد. از نظر پیامدهای مدیریتی، پژوهش حاضر نشان می‌دهد که مدیریت چالش‌های تولید پایدار باید به‌صورت یک مسئله راهبردی و بین‌وظیفه‌ای دیده شود، نه یک پروژه فنی محدود. اتخاذ رویکرد سیستمی به چالش‌ها، می‌تواند به بهبود تصمیم‌گیری استراتژیک، تخصیص بهینه منابع، افزایش تاب‌آوری سازمانی و تقویت جایگاه رقابتی صنعت پتروشیمی ایران در بازارهای جهانی منجر شود. علاوه بر این،




چارچوب ارائه شده قابلیت تعمیم و تطبیق برای سایر صنایع فرایندی و تکنولوژیک با ویژگی های مشابه را نیز داراست.

با وجود این، پژوهش حاضر با محدودیت هایی نیز همراه است. استفاده از نمونه گیری در دسترس، هر چند متداول در مطالعات صنعتی، می تواند دامنه تعمیم پذیری نتایج را محدود سازد. همچنین، تمرکز پژوهش بر دیدگاه خبرگان، امکان بررسی تجربی اثرات واقعی استقرار سیستم های تولید پایدار را فراهم نکرده است. پیشنهاد می شود پژوهش های آتی با بهره گیری از داده های طولی، مطالعات موردی عمیق و ترکیب شاخص های عینی عملکرد، به تکمیل و توسعه چارچوب حاضر پردازند. در مجموع، این پژوهش با ارائه یک مدل مرتبه دوم شکل گیرنده-بازتابی، گامی مؤثر در جهت پر کردن شکاف میان ادبیات نظری و واقعیت های اجرایی تولید پایدار در صنعت پتروشیمی ایران برداشته و مبنای علمی معتبری برای تصمیم گیری مدیریتی، سیاست گذاری صنعتی و پژوهش های آینده فراهم می آورد.

تعارض منافع

در پژوهش حاضر تعارض منافی وجود ندارد.

ORCID

| | | |
|----------------------|---|---|
| Amin Askari |  | https://orcid.org/0009-0000-5830-7185 |
| Mohsen Jalali Majidi |  | http://orcid.org/0000-0003-0984-6603 |
| Hossein Shirazi |  | https://orcid.org/0000-0003-3130-1642 |
| Arnoosh Shakeri |  | https://orcid.org/0000-0002-9363-025X |

منابع

- ۱-جللی، مهدی و طبرزدی، امین (۱۴۰۲). ارزیابی محرک‌های تولید سبز از دید خبرگان با هدف بهبود محیط‌زیست. *نشریه علمی محیط زیست و توسعه*، ۱۴(۲۷)، ۱۹-۳. <https://doi.org/10.22034/ciat.2024.203657>
- ۲-پوروزیری، زهرا، هاشم زاده خوراسگانی، غلامرضا، مدیری، محمود و فارس‌جانی، حسن (۱۴۰۱). طراحی مدل تولید پایدار در صنعت خودرو در شرایط تحریم و با رویکرد کلاس جهانی. *فصلنامه مدیریت توسعه و تحول*، ۱۴(۴۸)، ۱۰۳-۸۷. https://journals.iau.ir/article_691415.html
- ۳-دباغ، رحیم و سلطان محمدی، محمد (۱۴۰۰). شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر در تحقق تولید پایدار (مطالعه موردی: شرکت منتخب صنایع غذایی). *بررسی‌های بازرگانی*، ۱۹(۱۰۶)، ۲۵-۴۰. <https://doi.org/10.22034/bs.2021.246528>
- ۴-شاهبندرزاده، حمید و کرمی، حسن (۱۴۰۰). ارزیابی عوامل مؤثر بر تولید پایدار با استفاده از تکنیک DEMATEL، هفتمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت، حسابداری و توسعه اقتصادی، تهران، ایران. <https://civilica.com/doc/1310325>
- ۵-عسکری، امین، جلالی مجیدی، محسن، شاکری، آرنوش، شیرازی، حسین (۱۴۰۴). واکاوی ابعاد و موانع سیستم تولید پایدار در صنایع پتروشیمی: رویکرد فراترکیب. *مطالعات راهبردی در صنعت نفت و انرژی*، ۱۷(۶۶)، ۱-۲۴. <http://iieshrm.ir/article-1-1842-fa.html>
- ۶-Abdullah, A., Saraswat, S., & Talib, F. (2023). Barriers and strategies for sustainable manufacturing implementation in SMEs: A hybrid fuzzy AHP-TOPSIS framework. *Sustainable Manufacturing and Service Economics*, 2, 100012. <https://doi.org/10.1016/j.smse.2023.100012>
- ۷-Azad, M. A. (2025). Sustainable manufacturing practices in the apparel industry: Integrating eco-friendly materials and processes. *Authorea Preprints*. <https://www.techrxiv.org>
- ۸-Batwara, A., Sharma, V., & Makkar, M. (2025). Prioritization of the approaches for overcoming smart sustainable manufacturing barriers using stochastic fuzzy EDAS method. *International Journal on*

- Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 19(3), 1927-1949. <https://doi.org/10.1007/s12008-024-01891-2>
- ۹-Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative research in psychology*, 3(2), 77-101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- ۱۰-Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological bulletin*, 112(1), 155. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.112.1.155>
- ۱۱-Debnath, B., Taha, M. R., Siraj, M. T., Jahin, M. F., Ovi, S. I., Bari, A. M., ... & Raihan, A. (2024). A grey approach to assess the challenges to adopting sustainable production practices in the apparel manufacturing industry: Implications for sustainability. *Results in Engineering*, 22, 102006. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102006>
- ۱۲-Finfgeld-Connett, D. (2008). Meta-synthesis of caring in nursing. *Journal of clinical nursing*, 17(2), 196-204. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2702.2006.01824.x>
- ۱۳-Firescu, V., & Filip, D. (2025). Human Factors and Ergonomics in Sustainable Manufacturing Systems: A Pathway to Enhanced Performance and Wellbeing. *Machines*, 13(7), 595. <https://doi.org/10.3390/machines13070595>
- ۱۴-Harikannan, N., & Vinodh, S. (2025). State of art review on sustainable manufacturing and Industry 4.0. *Business Strategy and the Environment*, 34(1), 872-913. <https://doi.org/10.1002/bse.4013>
- ۱۵-Khang, A., & Akhai, S. (2024). Green Intelligent and Sustainable Manufacturing: Key Advancements, Benefits, Challenges, and Applications for Transforming Industry. *Machine Vision and Industrial Robotics in Manufacturing*, 405-417. <https://doi.org/10.1201/9781003438137-22>
- ۱۶-Narkhede, G. B., Pasi, B. N., Rajhans, N., & Kulkarni, A. (2025). Industry ۵.۰ Benchmarking: An International Journal, 32(2), 608-635. <https://doi.org/10.1002/bsd2.272>
- ۱۷-Niewiadomski, P., & Stachowiak, A. (2024). Identification of Barriers to Sustainable Manufacturing Implementation—The Perspective of Manufacturers of Parts and Components for Agricultural Transport. *Sustainability*, 16(6), 2244. <https://doi.org/10.3390/su16062244>
- ۱۸-Quintana-García, C., Marchante-Lara, M., & Benavides-Chicón, C. G. (2022). Towards sustainable development: Environmental innovation,

cleaner production performance, and reputation. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 29(5), 1330-1340. <https://doi.org/10.1002/csr.2272>

- ۱۹-Sandelowski, M., & Barroso, J. (2007). *Handbook for synthesizing qualitative research*. Springer publishing company.
- Shabur, M. A., Shahriar, A., & Ara, M. A. (2025). From automation to collaboration: exploring the impact of industry 5.0 on sustainable manufacturing. *Discover sustainability*, 6(1), 341. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01201-0>
- ۲۰-Siriphatcharachot, P., Sukkamart, A., Thongkaw, A., Pimdee, P., & Moto, S. (2025). High school student creativity, innovation, and teamwork skills from teacher's perspective: A second-order confirmatory factor analysis. *International Journal of Instruction*, 18(1), 39-60. <https://doi.org/10.29333/iji.2025.1813a>
- ۲۱-Srivastava, S. K. (2007). Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*, 9(1), ۵۳-۸۰. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2007.02020.x>
- ۲۲-Teixeira, P., Coelho, A., Fontoura, P., Sá, J. C., Silva, F. J., Santos, G., & Ferreira, L. P. (2022). Combining lean and green practices to achieve a superior performance: The contribution for a sustainable development and competitiveness—An empirical study on the Portuguese context. *Corporate social responsibility and environmental management*, 29(4), ۸۸۷-۹۰۳. <https://doi.org/10.1002/csr.2242>
- ۲۳-Vijay Kumar, V., & Shahin, K. (2025). Artificial intelligence and machine learning for sustainable manufacturing: current trends and future prospects. *Intelligent and Sustainable Manufacturing*, 2(1), 10002. <https://doi.org/10.70322/ism.2025.10002>
- ۲۴-WCED. (1987). *Our common future*. Oxford University Press.
- Whittaker, T. A., & Schumacker, R. E. (2022). *A beginner's guide to structural equation modeling*. Routledge.
- Yip, W. S., Zhou, H., & To, S. (2023). A critical analysis on the triple bottom line of sustainable manufacturing: key findings and implications. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(14), 41388-41404. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-25122-x>

[In Persian]

- ۱-Ajali, M., & Tabarzadi, A. (2023). Evaluation of green manufacturing drivers from experts' perspectives with the aim of improving environmental sustainability. *Journal of Environment and Development*, 14(27), 3-19. <https://doi.org/10.22034/eiat.2024.203657> [In Persian]

- ۲-Pourvaziri, Z., Hashemzadeh Khorasgani, G., Modiri, M., & Farsijani, H. (2022). Designing a sustainable manufacturing model in the automotive industry under sanction conditions using a world-class manufacturing approach. *Quarterly Journal of Development and Transformation Management*, ۱۴(۴۸), ۸۷-۱۰۳. [000000://00000000.000.00/000000000691415.0000](https://doi.org/10.22034/00000000.000.00/000000000691415.0000) [00 Persian]
- ۳-Dabbagh, R., & Soltanmohammadi, M. (2021). Identification and prioritization of factors influencing the realization of sustainable manufacturing (Case study: a selected food industry company). *Business Reviews*, 19(106), 25-۴۰. [000000://0000.0000/10.22034/00.2021.246528](https://doi.org/10.22034/00000000/10.22034/00.2021.246528) [00 00000000]
- ۴-Shahbanderzadeh, H., & Karami, H. (2021). Evaluation of factors affecting sustainable manufacturing using the DEMATEL technique. In *Proceedings of the 7th International Conference on Management, Accounting, and Economic Development* (Tehran, Iran). <https://civilica.com/doc/1310325> [In Persian]
- ۵-Askari A., Jalali Majidi, M., Shakeri, A., & Shirazi, H. (2025). Exploring the dimensions and barriers of sustainable manufacturing systems in the petrochemical industry: A meta-synthesis approach. *Strategic Studies in the Oil and Energy Industry*, 17(66), 1-24. <http://iieshrm.ir/article-1-1842-00.0000> [00 00000000]