

ارائه چارچوب مفهومی ادغام پارادایم‌های تولید ناب، انعطاف‌پذیر، چابک، سبز و پایدار در شرکت‌های کوچک و متوسط

Development of a Conceptual Framework for Integrating Lean, Flexible, Agile, Green, and Sustainable Manufacturing Paradigms in Small and Medium-Sized Enterprises

چکیده

شرکت‌های کوچک و متوسط در محیطی متأثر از تغییرات سریع تقاضای مشتری، افزایش تنوع محصولات، محدودیت منابع، فشارهای زیست‌محیطی و اختلالات زنجیره تأمین فعالیت می‌کنند. در چنین شرایطی، اتکا به یک رویکرد تولیدی واحد نمی‌تواند پاسخ‌گوی هم‌زمان الزامات بهره‌وری، انعطاف‌پذیری، سرعت پاسخ‌گویی، حفاظت از محیط‌زیست و پایداری اجتماعی باشد. هدف این پژوهش، بررسی و مقایسه پنج پارادایم تولیدی شامل تولید ناب، انعطاف‌پذیر، چابک، سبز و پایدار و شناسایی زمینه‌های هم‌افزایی و تفاوت میان آن‌ها در شرکت‌های کوچک و متوسط است. پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، توصیفی - مقایسه‌ای و مبتنی بر مرور ادبیات است. در این مطالعه، پارادایم‌های نام برده شده، براساس هدف اصلی، محرک‌های محیطی، نوع ارزش ایجادشده، شاخص‌های عملکرد، الزامات اجرایی، مزایا و محدودیت‌ها مقایسه شده‌اند. نتیجه‌ها نشان می‌دهد که تولید ناب به‌طور عمده بر حذف اتلاف و افزایش کارایی، تولید انعطاف‌پذیر بر سازگاری ظرفیت و فرایند، تولید چابک بر سرعت پاسخ‌گویی و نوآوری، تولید سبز بر کاهش آثار زیست‌محیطی و تولید پایدار بر ایجاد توازن میان ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی تأکید دارد. یافته‌ها همچنین نشان می‌دهد که این پارادایم‌ها جای‌گزین کامل یک‌دیگر نیستند و انتخاب یا ترکیب آن‌ها باید براساس شرایط زمینه‌ای، منابع، قابلیت‌های سازمان و الزامات بازار انجام شود. این پژوهش با ارائه یک مقایسه منسجم، مبنایی برای انتخاب رویکردهای تولیدی مناسب در شرکت‌های کوچک و متوسط فراهم می‌کند. نوآوری این پژوهش در ارائه یک چارچوب مفهومی یکپارچه است که به‌جای نگاه مجزا به پارادایم‌ها، بر هم‌افزایی آن‌ها در بستر شرکت‌های کوچک و متوسط تمرکز دارد و نقشه راهی عملیاتی برای ارتقای تاب‌آوری و پایداری سازمانی ارائه می‌دهد.

واژگان کلیدی: شرکت‌های کوچک و متوسط، تولید ناب، تولید انعطاف‌پذیر، تولید چابک، تولید سبز، تولید پایدار

نوع مقاله: پژوهشی

سیدعلی بنی‌هاشمی

دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

ایمیل نویسنده و عهده‌دار مکاتبات: banihashemi@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۲/۱۰

مقدمه

فرایندهای تولید در طول زمان، دستخوش دگرگونی‌های متعددی شده‌اند. از زمان انقلاب صنعتی که صنایع را وادار به پیشرفت‌های مستمر در روش‌ها و مواد اولیه برای کاهش ضایعات کرد (ویرمانی و همکاران، ۲۰۱۸). تا انقلاب‌های صنعتی بعدی که با اتوماسیون و ورود فناوری‌های دیجیتال، پیچیدگی محیط تولید را به شدت افزایش دادند، لزوم کارآمد بودن فرایندها و سازگاری با شرایط جدید بازار همواره یک ضرورت بوده است. عواملی از قبیل کمبود منابع، عدم تعادل اکولوژیکی، گرم شدن کره زمین، افزایش قیمت انرژی، تقاضای در حال تغییر مشتریان، و تنوع فزاینده محصولات، تولیدکنندگان را به جستجوی مداوم بهترین سیستم تولیدی سوق داده است (هرویوندی و همکاران، ۲۰۲۳). در نتیجه، صنایع تولیدی به دلیل رقابت فزاینده، فشار هزینه‌ها و پیشرفت‌های سریع فناوری در سراسر جهان، در حال تبدیل شدن به ساختاری ظریف‌تر و پیچیده‌تر هستند (هلو و هاو، ۲۰۲۲) که مدیریت این سیستم‌ها را با چالش‌های فراوانی روبه‌رو می‌سازد. فضای کسب و کار فعلی، محیطی است که در آن مشتریان بیش از هر زمان دیگری دارای قدرت و ارزش هستند. شرکت‌ها در این محیط رقابتی سعی می‌کنند به‌طور مستمر و در سریع‌ترین زمان ممکن، خواسته‌های در حال تغییر مشتریان خود را برآورده سازند. برای بقا در این وضعیت جدید، تلاش قابل توجهی لازم است تا فعالیت‌ها به شیوه‌ای متفاوت از رقبا انجام شود؛ بنابراین، تغییرات مستمر در تمامی فرایندهای سازمان، به‌ویژه فرایند تولید، امری حیاتی است. در پاسخ به این نیازها، در طول دهه‌های گذشته، راهبردهای تولیدی مختلفی از قبیل تولید ناب، تولید انعطاف‌پذیر، تولید سبز، تولید چابک و تولید پایدار برای برآورده ساختن نیازهای متغیر مشتریان و ذی‌نفعان تکامل یافته‌اند. باوجود مزایای خاص هر یک از این فلسفه‌ها، ادبیات موجود اغلب در ارائه یک چارچوب تحلیلی

یکپارچه برای ارزیابی هم‌زمان و مقایسه ساختارمند آن‌ها در تقابل با یکدیگر، به‌ویژه در شرایط محیطی متغیر، کاستی‌هایی دارد. پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهند که مسئله اصلی دیگر فقط شناسایی جداگانه هر پارادایم تولیدی نیست، بلکه طراحی چارچوبی برای ادغام نظام‌مند آن‌ها در سازمان‌ها، به‌ویژه SME ها، است. برای مثال، سیگل و همکاران (۲۰۲۴) با تأکید بر تولید سبز - ناب و پایداری در SME ها نشان می‌دهند که موفقیت این ادغام مستلزم چارچوبی مرحله‌ای و اجرایی است و موانعی مانند مشارکت کارکنان، یکپارچه‌سازی رویکردها، تعیین مسئولیت‌ها و سنجش عملکرد باید از ابتدا در طراحی مدل دیده شوند. این یافته‌ها ضرورت حرکت از مطالعات توصیفی به چارچوب‌سازی مفهومی و اجرایی را تقویت می‌کنند.

باوجود گسترش مطالعات مربوط به تولید ناب، انعطاف‌پذیر، چابک، سبز و پایدار، بخش قابل توجهی از پژوهش‌ها این رویکردها را به‌صورت جداگانه بررسی کرده‌اند. در نتیجه، هنوز ابهام‌هایی درباره مرزهای مفهومی این پارادایم‌ها، شاخص‌های مشترک و متمایز آن‌ها، الزامات اجرای هم‌زمان و شرایط مناسب برای استفاده از هر یک در شرکت‌های کوچک و متوسط وجود دارد. این ابهام برای شرکت‌های کوچک و متوسط اهمیت بیشتری دارد؛ زیرا این شرکت‌ها به‌طور معمول با محدودیت منابع مالی، کمبود نیروی متخصص، ضعف زیرساخت‌های اطلاعاتی و حساسیت بیشتر نسبت به تغییرات بازار مواجه‌اند. اگرچه هر یک از پارادایم‌های تولید ناب، انعطاف‌پذیر، چابک، سبز و پایدار برای پاسخ به بخشی از نیازهای رقابتی و محیطی سازمان‌ها توسعه یافته‌اند، هنوز روشن نیست که در شرکت‌های کوچک و متوسط این پارادایم‌ها چگونه باید اولویت‌بندی، ترکیب و به‌صورت مرحله‌ای پیاده‌سازی شوند تا هم‌زمان به بهبود عملکرد عملیاتی، افزایش پاسخ‌گویی، کاهش اتلاف و ارتقای پایداری منجر شوند؛ بنابراین، مسئله اصلی این پژوهش، ارائه یک چارچوب مفهومی برای ادغام هدفمند این پنج پارادایم

ساختارمند آن‌ها با یکدیگر اختصاص دارد تا نتیجه‌های موردنیاز برای تصمیم‌گیری راهبردی فراهم شود.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، توصیفی مقایسه‌ای است و با استفاده از مرور ادبیات انجام شده است. هدف از مرور ادبیات، شناسایی و مقایسه ویژگی‌ها، اهداف، ابزارها، مزایا، محدودیت‌ها و شاخص‌های عملکرد مرتبط با پنج پارادایم تولیدی شامل تولید ناب، انعطاف‌پذیر، چابک، سبز و پایدار است. واحد تحلیل در این پژوهش، مطالعات علمی منتشرشده درباره این پارادایم‌ها و کاربرد آن‌ها در شرکت‌های کوچک و متوسط است. جست‌وجوی منابع با استفاده از کلیدواژه‌های مرتبط با تولید ناب، تولید انعطاف‌پذیر، تولید چابک، تولید سبز، تولید پایدار و شرکت‌های کوچک و متوسط در پایگاه‌های علمی معتبر انجام شد. مقالات و پژوهش‌هایی وارد بررسی شدند که دارای ارتباط مستقیم با موضوع پژوهش، انتشار در مجلات یا همایش‌های علمی معتبر و برخوردار از محتوای مفهومی یا تجربی درباره حداقل یکی از پنج پارادایم مورد مطالعه بودند. مطالعات فاقد ارتباط مستقیم با حوزه تولید، منابع تکراری و آثاری که اطلاعات کافی درباره موضوع ارائه نمی‌کردند، از بررسی حذف شدند. برای استخراج داده‌ها، یک برگه تحلیل شامل پنج گروه متغیر طراحی شد: الف) تعریف و هدف پارادایم؛ ب) اصول و ابزارهای اجرایی؛ ج) شاخص‌های عملکرد؛ د) مزایا و محدودیت‌ها؛ و ه) الزامات و موانع کاربرد در شرکت‌های کوچک و متوسط. سپس یافته‌های مطالعات با استفاده از تحلیل مقایسه‌ای و موضوعی دسته‌بندی و در قالب جداول مقایسه‌ای ارائه شد.

مبانی نظری فرایندهای تولیدی

۱- تولید ناب

تولید ناب به‌عنوان یک فلسفه بهبود مستمر که شبیه به سیستم

در SME‌ها است؛ بنابراین، مسئله اصلی پژوهش حاضر آن است که پنج پارادایم تولیدی مذکور چگونه از نظر اهداف، قابلیت‌ها، الزامات اجرایی و پیامدهای عملکردی با یکدیگر مقایسه می‌شوند و تحت چه شرایطی می‌توان از ترکیب یا توالی آن‌ها در شرکت‌های کوچک و متوسط استفاده کرد. در این پژوهش، منظور از شرکت‌های کوچک و متوسط، بنگاه‌هایی است که از نظر تعداد کارکنان، میزان فروش یا حجم دارایی‌ها در طبقه‌بندی بنگاه‌های کوچک و متوسط قرار می‌گیرند. باتوجه به تفاوت معیارهای تعریف SME در کشورها و صنایع مختلف، تمرکز این مقاله بر ویژگی‌های عمومی این شرکت‌ها، ازجمله محدودیت منابع، ساختار مدیریتی به نسبت ساده، وابستگی بیشتر به بازار و تأمین‌کنندگان و محدودیت در دسترسی به فناوری و نیروی متخصص است؛ بنابراین، نتیجه‌های مقاله باید متناسب با زمینه صنعت و کشور مورد استفاده تفسیر شود.

باتوجه به اهمیت راهبردی هر یک از فلسفه‌های تولیدی فوق‌الذکر، هدف از انجام پژوهش، مقایسه نظام‌مند پارادایم‌های تولید ناب، انعطاف‌پذیر، چابک، سبز و پایدار و تبیین شرایط مناسب استفاده از آن‌ها در شرکت‌های کوچک و متوسط است. درحالی‌که مطالعات متعددی دو الگو (برای مثال ناب در مقابل چابک) را مقایسه می‌کنند، تحلیل جامعی از هر پنج الگو (ناب، انعطاف‌پذیر، چابک، سبز، پایدار) و چارچوبی برای ادغام بالقوه آن‌ها، به‌ویژه در زمینه محدود در شرکت‌های کوچک و متوسط، وجود ندارد. رویکرد تحلیلی پژوهش حاضر تلاش می‌کند تا راهنمای مدیران و تولیدکنندگان را در انتخاب راهبرد بهینه فراهم آورد.

این پژوهش در سه بخش اصلی تدوین شده است. بخش اول، روش‌شناسی پژوهش را بیان می‌کند. بخش دوم شامل مرور سیستماتیک ادبیات پژوهش و تحقیقات پیشین برای تعریف و تبیین دقیق مشخصات هر کدام از راهبردهای تولیدی منتخب است. بخش سوم به تحلیل پارادایم‌های تولیدی و ارائه مقایسه

تولیدی کایزن یا تویوتا است، شناخته می‌شود. این مفهوم برای به حداکثر رساندن استفاده از منابع از طریق به حداقل رساندن ضایعات توسعه یافته است. تولید ناب نخستین بار پس از جنگ جهانی دوم در صنایع خودروسازی ژاپن به دلیل کمبود منابع، پول و نیروی انسانی فنی معرفی شد. در شرکت خودروسازی تویوتا، دو شخص برجسته با نام‌های ایچی تویودا و تایچی اوهنو، سیستم تولید تویوتا را ابداع کردند که اکنون به عنوان "تولید ناب" شناخته می‌شود. هدف از این فلسفه تولیدی، کاهش اتلاف در تولید است که به دنبال آن، باعث کاهش هزینه و کوتاه شدن زمان کار نیز می‌شود (کومار و همکاران، ۲۰۲۲). شرکت‌های کوچک و متوسط نقش فوق‌العاده‌ای در بخش تولید در سراسر جهان از نظر حجم تولید و ایجاد اشتغال دارند. جهانی شدن و فناوری‌های نوظهور تأثیر زیادی بر SMEها در سراسر جهان دارند. شرکت‌های کوچک و متوسط تلاش زیادی می‌کنند تا روش‌ها و اصول جدیدی مانند فلسفه ناب را برای دستیابی به بهبود عملکرد به کار گیرند. البته، ایده استفاده از تولید ناب توسط تعداد زیادی از SMEها به دلیل ترس از هزینه اجرا و مزایای دیر هنگام ناب بودن، پذیرفته نشده است. برخی از عوامل حیاتی برای اجرای ناب در SMEها عبارت‌اند از: مدیریت و رهبری، امور مالی، مهارت و تخصص، سیستم ارزیابی عملکرد و فرهنگ سازمان یادگیرنده آچانگا و همکاران، ۲۰۰۶؛ پینگو و یو، ۲۰۱۰). در سال‌های اخیر کاربرد تولید ناب در انواع صنایع به سرعت در حال رشد است. برخی از سازمان‌ها مزایای بسیار زیادی را گزارش کرده‌اند، در حالی که بسیاری از صنایع به نتیجه‌های مطلوب دست نیافته‌اند. یکی از دلایل این امر، درک نادرست مدیریت و کارکنان از تولید ناب است (آناند و کودالی، ۲۰۱۰a).

پانیزولو و همکاران (۲۰۱۲) نفوذ تولید ناب را در شرکت‌های کوچک و متوسط هند بررسی کردند و دریافتند که راهبرد پیاده‌سازی ناب باعث بهبود قابل توجهی در عملکرد تولید

می‌شود. این پژوهشگران، استفاده از ابزار نادرست، استفاده از یک ابزار برای حل همه مشکلات، عدم درک و وجود یک محیط تصمیم‌گیری ضعیف را به عنوان برخی از مشاهدات عدم اجرا و شکست تولید ناب در SMEها نام می‌برند. از طرف دیگر، حمایت خارجی از سوی دولت، تأمین کنندگان، مشتریان و مشاوران خارجی می‌تواند اجرای موفقیت‌آمیز ناب را در شرکت‌های کوچک و متوسط افزایش دهد (روسه و همکاران، ۲۰۱۰). تولیدکنندگان بزرگ بیشتر از تولیدکنندگان کوچک، شیوه‌های تولید ناب را اجرا می‌کنند (لووه و همکاران، ۱۹۹۷؛ وایت و همکاران، ۱۹۹۹؛ شاه و وارد، ۲۰۰۳). تجربه نشان داده است، شرکت‌هایی که از ابزارهای ناب مانند تولید به موقع، آراستگی محیط کار، مدیریت کیفیت جامع و... استفاده کرده‌اند، پیشرفت‌های قابل توجهی در زمان تحویل، چرخه تحویل، سطح بهره‌وری و کیفیت، نرخ برگشتی و رضایت مشتری مشاهده کردند (سوهال و اگلستون، ۱۹۹۴؛ لووه و همکاران، ۱۹۹۷). هیچ فرایند/چارچوب استاندارد برای اجرای تولید ناب وجود ندارد. تولید ناب به یک سیستم یکپارچه متشکل از عناصر بسیار یکپارچه و طیف گسترده‌ای از شیوه‌های مدیریت تبدیل شده است (دلبرج، ۲۰۰۵). اگرچه برنامه‌هایی برای اجرای اصول ناب وجود دارد، اما با این وجود، مدیریت سازمان به منابع کافی و تلاش گسترده نیازمند است (آناند و کودالی، ۲۰۱۰). اهداف حذف ضایعات و عیوب صفر در فلسفه ناب را می‌توان از طریق افزایش آگاهی از ناب، شناسایی و کاهش موانع ناب، تغییر فرهنگ سازمان، تغییر نقش رهبران تیم، تشکیل کارگروه‌های چندمنظوره، افزایش سطح تعهد کارکنان با سامانه‌های پرداخت و پاداش مناسب، یکپارچه‌سازی کل زنجیره تأمین از تأمین کننده اولیه تا مشتری نهایی، نوآوری و انطباق در سازمان به دست آورد (بهامو و سینگ سنگوان، ۲۰۱۴). بررسی ادبیات پژوهش نشان می‌دهد، اکثر پژوهشگران بر پیاده‌سازی ابزارها، تکنیک‌ها و عملکردهای ناب در بخش تولید متمرکز شده‌اند (سینگ و

همکاران، ۲۰۱۰؛ جونز و ووماک، ۲۰۱۶؛ دنیس، ۲۰۱۷)؛ درحالی که اثربخشی و پایداری این اصول ناب بسیار متغیر بوده است. برخی دیگر از پژوهشگران به جای ابزارهای ناب، روی شیوه‌های رهبری، مسائل فرهنگی، مسائل کارکنان و موضوعات محیط کاری تمرکز کرده‌اند، زیرا این موضوعات نقش کلیدی در موفقیت پایدار فلسفه ناب دارند (دلبریج، ۱۹۹۸؛ دلبریج و وایتفیلد، ۲۰۰۱؛ شاه و وارد، ۲۰۰۷).

جمع‌بندی ادبیات پژوهش در موضوع پیاده‌سازی و اجرای تولید ناب در شرکت‌های کوچک و متوسط را می‌توان در سه سطح اقدامات قبل اجرا، حین اجرا و بعد اجرا دسته‌بندی کرد (جدول ۱). پذیرش موفقیت‌آمیز ناب در هر نوع صنعتی بستگی به این دارد که سازمان تا چه اندازه برنامه اجرایی را شروع کرده باشد. هر سازمانی قبل از اجرای تولید ناب باید برنامه‌های آگاهی ناب را برای همه کارکنان در سطوح سلسله‌مراتبی مختلف در سازمان ایجاد کند. اهداف تولید ناب باید برای همه کارکنان خط مقدم و سرپرستان روشن شود (لیکر، ۲۰۰۴). سطح حین اجرا، بر شناسایی و حذف انواع ضایعات در سراسر زنجیره تأمین با استفاده مناسب از ابزارها و تکنیک‌های ناب تمرکز

دارد. تحویل به‌موقع توسط تأمین‌کنندگان این امکان را به شرکت می‌دهد تا موجودی را کم نگه‌داشته و زمان پاسخ‌گویی به مشتریان را کوتاه کند. عرضه ناب با زمان‌بندی و بهینه‌سازی بهبود کیفیت، خدمات و زمان تحویل مرتبط است (چون‌وو، ۲۰۰۳). اجرای ناب شامل پیاده‌سازی و ارزیابی ناب (کاربرد ابزار و تکنیک‌های ناب، پایداری ماشین و فرایند، بهبود کیفیت، کنترل موجودی، ارزیابی)، برون‌سپاری (تعمیر و نگهداری، خانه‌داری، امنیت، خدمات غذایی، پست، خدمات کپی و...)، همکاری (برآوردن نیازها) و فناوری (اشتراک‌گذاری دانش، تولید ایده، اطلاعات ذخیره‌سازی هزینه) برای بهبود عملکرد جنبه‌های کلیدی سیستم SIPOC (تأمین‌کنندگان، ورودی، فرایند، خروجی، مشتری) در فرایند تولید است. بسیاری از شرکت‌هایی که دستاوردهای اولیه را از اجرای ناب گزارش کرده‌اند، اغلب دریافتند که این بهبودها به‌صورت مقطعی و موقتی باقی می‌مانند و شرکت‌ها قادر به بهبود مستمر نیستند. یکی از دلایل این امر را می‌توان عدم برنامه‌ریزی مناسب پس از اجرا دانست (موهانتی و همکاران، ۲۰۰۷). مرحله بعد اجرا، فرایند اجرای ناب را تکمیل می‌کند. این مرحله شامل مشاهده

جدول ۱- سطوح پیاده‌سازی و اجرای تولید ناب در شرکت‌های کوچک و متوسط (منبع: یافته‌های پژوهشگر)

ورودی	پردازش	خروجی
اقدامات قبل اجرا	• تیم راهبری و اجرای پروژه را انتخاب کرده و دفتر پروژه را تشکیل دهید. • فلسفه ناب را تبلیغ کنید. • مدیریت و کارکنان را درگیر کنید. • محرک‌ها و موانع ناب را شناسایی کنید. • کارگروه‌های عملکردی را تشکیل دهید. • کارگروه‌های عملکردی را در موضوع ابزارها و تکنیک‌های تولید ناب آموزش دهید.	• تشکیل تیم راهبردی و جزئیات دفتر مدیریت پروژه • همبستگی همه‌جانبه برای اجرای تولید ناب در سازمان • کارگروه‌های عملکردی و رهبران آموزش‌دیده
اقدامات حین اجرا	شناسایی انواع ضایعات، استانداردها و معیارها در طول زیرسیستم SIPOC / تنظیم اهداف در طول SIPOC / برنامه‌ریزی و اجرای کایزن	نقشه‌های جریان ارزش فعلی / نقشه‌های جریان ارزش آینده
اقدامات بعد اجرا	نتایج کایزن را به‌صورت مرتب ارزیابی کنید. تشخیص دهید، پاداش دهید، جشن بگیرید.	

نتیجه‌ها و تجزیه و تحلیل کل فرایند است. پس از اجرای ناب، سازمان‌ها باید به دنبال بازنگری کل فرایند باشند تا فرصت‌هایی برای بهبود مستمر ایجاد کنند. بهبود مستمر شامل یک مسیر طولانی و مداوم برای ایجاد تدریجی مهارت‌ها و قابلیت‌ها در سازمان است تا بتواند مسائل و اتلاف‌های جدید در سیستم را شناسایی کرده و با کمک ابزارها و تکنیک‌های مختلف حل کند. موضوعات بعد اجرا مربوط به شناخت عمیق‌تر کارکنان (جوایز مختلف، بالا بردن موقعیت، جریمه، بهبود محیط کار و...) و مشتریان برای یافتن رضایت مشتری از طریق اطلاعات شکایات مشتری، تجزیه و تحلیل شکایات و انتقادات و سامانه‌های اطلاعات مشتری است (فولرتون و همکاران، ۲۰۰۳).

۲- تولید انعطاف پذیر

بررسی ادبیات انعطاف‌پذیری نشان می‌دهد که تعریفی از انعطاف‌پذیری وجود ندارد که مورد قبول همگان باشد. در کنار دشواری یکسان‌سازی مفهومی اصطلاحات، تنوع زیادی در زمینه‌های کاربرد مفهوم انعطاف‌پذیری نیز وجود دارد (تونی و تونچیا، ۲۰۰۵). از دیدگاه کلی، انعطاف‌پذیری به روش‌های متعددی تعریف می‌شود. اپینک (۱۹۷۸) بر این عقیده است که انعطاف‌پذیری، سازمان را نسبت به تغییرات محیطی پیش‌بینی نشده کمتر آسیب‌پذیر می‌کند یا بهتر می‌تواند به طور موفقیت‌آمیزی به آن واکنش نشان دهد. گروین (۱۹۸۷) انعطاف‌پذیری را به عنوان توانایی شرکت برای مقابله با عدم قطعیت تعریف کرد. انعطاف‌پذیری این توانایی را به شرکت می‌دهد تا به فرصت‌های بازار و فناوری‌های در حال تغییر به سرعت پاسخ دهد و با اطمینان بالا نسبت به درک تغییرات روزافزون در بازار ادامه دهد. دیکسون و همکاران (۱۹۹۰) انعطاف‌پذیری را باکیفیت، محصول، خدمات و هزینه مرتبط می‌دانند. ستی و ستی (۱۹۹۰) از

طریق یک بررسی گسترده دریافتند، بیشتر ادبیات موضوع فقط بر طبقه‌بندی انعطاف‌پذیری متمرکز شده است. آن‌ها مجموعه‌ای از یازده نوع انعطاف‌پذیری را ارائه کردند که به انعطاف‌پذیری سیستم و انعطاف‌پذیری کل گروه‌بندی شدند. آن‌ها به طور خلاصه بیان کردند که انعطاف‌پذیری مفهومی پیچیده، چندبعدی و سخت است. کورا (۱۹۹۴) انعطاف‌پذیری را به عنوان ویژگی رابط بین یک سیستم و محیط خارجی آن تعریف کرد. شوچوک (۱۹۹۹) بیان می‌کند که انعطاف‌پذیری به یکی از مهم‌ترین ویژگی‌ها در سامانه‌های تولید مدرن تبدیل شده است. درنهایت تونی و تونچیا (۲۰۰۱) نیز انعطاف‌پذیری را به عنوان قابلیت سازگاری و تغییر می‌بینند. باتوجه به تعاریف ارائه شده، انعطاف‌پذیری را می‌توان به عنوان یک سلاح رقابتی اصلی برای سازمان‌های تولیدی در نظر گرفت که در محیط‌های نامطمئن فزاینده و بازارهای متلاطم فعالیت می‌کنند و به آن‌ها توانایی تغییر سریع سطح تولید، توسعه سریع‌تر و مکرر محصولات جدید و واکنش سریع‌تر به تهدیدها را می‌دهد.

منظور از تولید انعطاف‌پذیر، سازماندهی و طراحی یک سیستم تولیدی است که بتواند خود را با تغییرات ناخواسته و ناگهانی در محیط خارجی و داخلی تنظیم و تطبیق دهد. انعطاف‌پذیری در سیستم تولیدی به معنای توانایی سیستم برای تنظیم و تغییر فرایندها، ساختار سازمانی، تجهیزات و منابع به منظور مواجهه با تغییرات در فناوری، تقاضا، محیط خارجی، محیط داخلی و سایر عوامل است (تورکیلماز و همکاران، ۲۰۲۰). شکل (۱) ویژگی‌های اصلی یک سیستم تولید انعطاف‌پذیر را از دیدگاه پژوهشگران نشان می‌دهد. سیستم تولید انعطاف‌پذیر در تلاش است تا با تغییرات متغیرهای بازاری و محیطی به بهره‌وری بالاتری دست‌یافته و بتواند فرصت‌ها و چالش‌های جدید در محیط کسب‌وکار را درک کرده و با آن مقابله کند (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۱).



شکل ۱- ویژگی های اصلی سیستم تولید انعطاف پذیر از دیدگاه سینگ و همکاران (۲۰۱۳)

۳- تولید چابک

شامل فرایندها و ابزارهایی در تولید محصولات جهت پاسخ گویی سریع به نیازهای مشتریان و تغییرات بازار بدون تغییر در کیفیت و هزینه است. این مفهوم یکی از مفاهیم برخاسته از سازمان چابک در پاسخ به بازارهای رقابتی و سرشار از تغییر است. این روش توسط تولیدکنندگانی که خود را برای افزایش عملکرد آماده می کنند، به عنوان راهبرد موفق پذیرفته شده است. تولید چابک در محیط رقابتی امروز نوعی توانایی در شرکت ایجاد می کند تا بتواند در برابر تغییرات سریع بازار پاسخ گو باشد. به عبارت دیگر، هدف سیستم تولید چابک قراردادن شرکت جلوتر از رقبای اوست (سیفی و همکاران، ۱۴۰۳). یوسف و همکاران (۱۹۹۹) چابکی را استفاده موفق از اصول رقابتی (سرعت، انعطاف پذیری، نوآوری، کیفیت، سودآوری) از طریق یکپارچگی منابع و بهترین کاربردها در محیطی بادنش غنی جهت ارائه محصولات و خدمات مشترک در بازار متغیر می دانند. جدول (۲) مزایا و معایب تولید چابک را بیان می کند.

اولین مفهوم از تولید چابک در ادبیات، مربوط به اواخر قرن بیستم، حدود سال ۱۹۹۱ بیان شد؛ زمانی که گروهی از پژوهشگران در دانشگاه یاکوگا ایالات متحده تلاش کردند راه های جدیدی برای برآوردن نیازهای در حال تغییر مشتریان بیابند به طوری که بر کیفیت، بهره وری یا سودآوری سازمان تأثیر منفی نگذارد. طبق نظر گوناسکاران (۱۹۹۹)، تولید چابک یک مدل تولیدی جدید ناشی از تغییرات در محیط است که نوآوری در تولید، اطلاعات، فناوری و ارتباطات را از طریق طراحی مجدد سازمانی و راهبردهای بازاریابی جدید به هم پیوند می دهد. تولید چابک به عنوان پارادایم ساخت پیشرو قرن بیست و یکم شناخته می شود؛ به این معنی که سازندگان راهبردهایی را اتخاذ می کنند که در نهایت عملکردشان را در یک بازار رقابتی فزاینده با نیازهای متغیر و سریع مشتریان بهبود بخشیده و آن ها را به رهبران ملی و بین المللی تبدیل کند. تولید چابک

جدول ۲- مزایا و معایب تولید چابک از دیدگاه ویرمانی و همکاران (۲۰۱۸)

مزایا	معایب
- روابط بهتر و گسترده تر با مشتری - تنوع بیشتر محصولات و گزینه های بیشتر در اختیار مشتری - دقت بیشتر در تولید محصولات سفارشی - افزایش گردش مالی شرکت ها - روابط بهتر و گسترده تر با تأمین کنندگان	- احتمال کمبود محصولات جدید به دلیل نوسان تقاضای مشتری - نیاز به اپراتورهای ماهر و آموزش دیده - نیاز به سرمایه گذاری بالا جهت تهیه ماشین آلات جدید - سطح بالای نِت مورد نیاز در ماشین آلات

برای کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی استفاده می‌کند (هالم و همکاران، ۲۰۲۳). ارزش سرمایه‌گذاری در فناوری سبز و تحول سبز به‌عنوان موضوع بحث بین پژوهشگران و تولیدکنندگان در نظر گرفته می‌شود (دیف، ۲۰۱۱). شیوه‌های زیست‌محیطی و سبز در تولید باید از یک رویکرد مدیریت زیست‌محیطی به یک راهبرد زیست‌محیطی حرکت کند. به‌دنبال این، تولیدکنندگان می‌توانند عملکرد زیست‌محیطی خود را بهبود بخشند و درعین‌حال با منافع اقتصادی مطابقت داشته باشند (گروه مشاوران بوستون، ۲۰۰۹).

تولید سبز شامل کنترل عوامل محیطی است که می‌تواند بر محیط‌زیست تأثیر منفی بگذارد. وضعیت نگران‌کننده گرمایش جهانی باعث شده است که هم پژوهشگران و هم پزشکان توجه خود را به تأثیر انتشار گازهای گلخانه‌ای بر محیط‌زیست معطوف کنند. بااین‌حال، باوجود این‌که کار پژوهشی قابل‌توجهی در مطالعه تأثیر و کاهش ردپای کربن در صنایع مختلف تولیدی انجام شده است، یک تحلیل عینی از مشکل وجود ندارد. می‌توان نتیجه گرفت که ابتکارات سبز باید در هر مرحله از طراحی تا ساخت و کاربرد محصولات یا فرایندها انجام شود. آگاهی نسبت به سبز هم‌چنین باید در بین تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان از طریق ابتکارات مختلف دولتی، مقررات سخت‌گیرانه و سیاست‌ها برای تقویت طرح‌های تولید سبز بهبود یابد (بندینگ و همکاران، ۲۰۲۳). بوی و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهشی به بررسی عوامل مؤثر در ایجاد تولید سبز می‌پردازند. آن‌ها جنبه‌های اصلی تولید سبز را شامل بهره‌وری سبز، مدیریت زنجیره تأمین سبز، تجارب عملیاتی سبز، مدیریت زیست‌محیطی و سیاست دولت دسته‌بندی می‌کنند. آن‌ها معتقدند تجارب عملیاتی سبز، مدیریت زیست‌محیطی و سیاست‌های دولت، جزو جنبه‌های ضروری مؤثر بر عملکرد تولید سبز هستند. پتانسیل این جنبه‌های تولید سبز برای ایجاد توسعه پایدار، تطبیق رشد اقتصادی با حفظ

سازمان‌های تولیدی چابک، محصولاتی باکیفیت بالا، بدون اشکال، بازمان انتظار کوتاه، همراه با ارتقا و قابلیت شکل‌دهی مجدد تولید می‌کنند. این سازمان‌ها، طراحی، مهندسی و تولید را با بازاریابی و فروش یکپارچه و منسجم می‌کنند، و محصولات به‌طور دقیق مطابق با خواسته و نیاز مشتری ساخته می‌شود (کومار و همکاران، ۲۰۲۰). شریفی و ژانگ (۱۹۹۹) روشی را توسعه دادند و به‌صورت تجربی آن را برای ارزیابی سطح فعلی چابکی، تعیین سطح چابکی موردنیاز و تعیین قابلیت‌های موردنیاز برای دستیابی به آن سطح چابکی مورد آزمایش قرار دادند.

۴- تولید سبز

تولید سبز یک الگوی تولیدی مهم است که راهبردها و فن‌های سبز بودن را برای کارآمدتر شدن تولید به اجرا درمی‌آورد (آریفین و همکاران، ۲۰۱۶). پژوهشگران به‌وضوح اشاره کرده‌اند که تولید سبز نه‌تنها از منظر زیست‌محیطی، بلکه به‌دلیل جنبه‌های اجتماعی و اقتصادی آن دارای اهمیت است (کلیندوفر، ۲۰۱۵). تولید سبز به فن‌هایی اطلاق می‌شود که ضایعات و آلودگی را در تولید به حداقل می‌رساند. این امر بر کمبود منابع طبیعی در جهان اثرگذار بوده و مقادیر انبوه زباله‌های تولیدی را کاهش می‌دهد (ساکسنا و سریواستاوا، ۲۰۲۲). به‌عبارت‌دیگر، روش‌های تولیدی در این فلسفه تولید، از روش‌های تجدیدپذیری برای تولید کالاها و خدمات حمایت می‌کنند که به بشر و محیط‌زیست آسیبی نمی‌رسانند. طبق تعریف دیگری، تولید سبز آن دسته از طرح‌ها، مواد، فرایندها و محصولات را پوشش می‌دهد که در عین به حداقل رساندن آلودگی و خطر برای سلامت انسان و محیط‌زیست، اقتصادی و پایدار هستند (داس و ساتائو، ۲۰۱۳). به بیان دقیق‌تر، تولید سبز به فن‌هایی تولید پیشرفته اشاره دارد که از کاهش ضایعات، بازیافت زباله، بهبود استفاده از منابع و سایر راهبردهای مرتبط

محیط‌زیست و ترویج نگرانی‌های زیست‌محیطی در عملیات شرکت، دلیل اصلی اهمیت این جنبه‌های تولید سبز است. تولیدکنندگان این توانایی را دارند که با پذیرش و ترویج این سه جنبه، حرکت به سمت یک بخش تولیدی سبزتر و پایدارتر را هدایت کنند. انجام این کار به نفع محیط‌زیست، جامعه و رونق بلندمدت خود شرکت‌ها خواهد بود.

کارایی در تولید امری حیاتی است و هر صنعتی تلاش می‌کند تا با اجرای راهبردهای مختلف اساسی تا پیشرفته به کارایی دست یابد. شیونگ و همکاران (۲۰۲۲) استدلال می‌کنند که تولید سبز به یک روش تولید پیشرفته اشاره دارد که اثرات زیست‌محیطی و بهره‌وری منابع را به‌طور کامل در نظر می‌گیرد و اعتقاد بر این است که این رویکرد مسیر آینده بخش تولید معاصر است. آیتاسین و همکاران (۲۰۲۲) دریافتند که تولید سبز، با بهبود فرایند، میزان تولید را افزایش می‌دهد، ضایعات و آلودگی‌ها را کم می‌کند، کارآمدتر است، هزینه مواد خام را کاهش می‌دهد و در نهایت منجر به بهبود راندمان تولید می‌شود؛ درحالی‌که کمترین تأثیر را بر محیط‌زیست دارد. باین‌وجود، بلهدادی و همکاران (۲۰۲۰) بیان می‌کنند که ترکیب شیوه‌های تولید سبز در هر مرحله از تولید یک فرایند دشوار است، زیرا این مفهوم برای ایجاد تعادل بین اهداف تولید، عملکرد، تأخیرها و نگرانی‌های زیست‌محیطی برای جلب رضایت همه ذی‌نفعان مربوطه ضروری است. از آنجایی که بسیاری از شرکت‌ها هنوز مطمئن نیستند که چگونه تولید سبز را به‌طور مؤثر اتخاذ کنند، درک متغیرهای دخیل در انجام این کار برای افزایش روش‌های تولید و افزایش رقابت ضروری است.

۵- تولید پایدار

در دنیایی که اکنون زندگی می‌کنیم، توجه به کیفیت زندگی انسانی و تعامل حداکثری با محیط اطراف از اهمیت بالایی برخوردار است. بر همین اساس، دستیابی به یک زندگی

بانشاط، مداوم و سالم، با بهره‌گیری از امکانات مادی و معنوی بدون تخریب محیط‌زیست و به خطر افکندن منافع نسل‌های آینده، در رأس توجه اهداف توسعه قرار گرفته است. در این راستا، یکی از موضوعاتی که در مجامع بین‌المللی مورد توجه قرار گرفته است، گفتمان توسعه پایدار و سیاست‌های گرفته‌شده برای تحقق آرمان‌ها، اهداف و شاخص‌های دستیابی به آن است (جمال‌امیدی و همکاران، ۱۴۰۳). مفهوم تولید پایدار برای نخستین بار در سال ۱۹۹۲ در همایش محیط‌زیست و توسعه سازمان ملل متحد ارائه شد. مفهوم یادشده ارتباطی نزدیک با مفهوم توسعه پایدار دارد. تولید پایدار به معنای تولید کالا و خدمات با استفاده از فرایندها و سامانه‌های غیرآلاینده، با صرفه در انرژی و منابع طبیعی، با دوام از لحاظ اقتصادی و ایمن و سالم برای کارگران، جوامع و مصرف‌کنندگان است؛ بنابراین اصول تولید پایدار بر ارتباط بین سامانه‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی مرتبط با تولید و مصرف تأکید دارند (ولوا و النبرک، ۲۰۰۱). عوامل مختلف زیست‌محیطی مربوط به پایداری شامل منابع طبیعی، انرژی، آلودگی و ضایعات هستند (احمد و سرکار، ۲۰۱۸). برای تولید پایدار، پایداری محیط‌زیست به‌تنهایی کافی نیست؛ بنابراین برای تولید پایدار مناسب باید دیدگاه‌های اقتصادی و اجتماعی نیز در نظر گرفته شود (میشرا و همکاران، ۲۰۲۰). در فرایند تولید، توجه به عوامل اقتصادی و سودآوری همیشه در کانون توجه تولیدکنندگان قرار داشت است. پس از آن توجه به محیط‌زیست در مرکز توجه پژوهشگران قرار گرفت و اهمیت کمتری به مسائل اجتماعی داده شد. تجربه نشان می‌دهد، بی‌توجهی به عوامل اجتماعی در خلل فرایند توسعه، اثربخشی پروژه‌ها و برنامه‌ها در سازمان را با مخاطره جدی مواجه می‌سازد. توسعه اجتماعی فرایندی است که ساختارهای اجتماعی را تغییر داده و موجب انسجام و همبستگی در درون جامعه می‌شود. هم‌چنین پایداری اجتماعی به معنای حمایت

شیوه‌های تولیدی با پایداری با مشکل مواجه هستند. الرفاعی و لیکووا (۲۰۲۵) نیز با بیان اینکه در رقابت شدید امروزی، سازمان‌ها مجبور به اتخاذ الگوهای بهبود مؤثر هستند، چهار پارادایم تولیدی ناب، چابک، تاب‌آوری و سبز را ترکیب کرده و برای آن شاخص ارزیابی اثربخشی پیشنهاد دادند.

پارادایم‌های مختلف تولیدی ناب، انعطاف‌پذیر، سبز، چابک و پایدار همگی به دنبال ارائه بهترین شرایط تولیدی هستند. هر کدام از این فلسفه‌های تولیدی در یک دوره زمانی براساس شرایط حاکم بر صنعت تولید و خدمات مطرح شدند. جدول (۳) خلاصه‌ای از مفاهیم کلیدی پنج پارادایم تولیدی را نشان می‌دهد. بررسی تطبیقی نشان می‌دهد که میان پنج پارادایم تولیدی، هم‌پوشانی‌های قابل توجهی وجود دارد. برای مثال، کاهش ضایعات در تولید ناب می‌تواند با اهداف تولید سبز هم‌راستا باشد و به کاهش مصرف مواد، انرژی و هزینه‌های دفع ضایعات منجر شود. همچنین، انعطاف‌پذیری عملیاتی می‌تواند قابلیت پاسخ‌گویی سریع در تولید چابک را تقویت کند. با این حال، ادغام این پارادایم‌ها همواره بدون تعارض نیست. کاهش موجودی و تأکید بر تحویل به‌موقع ممکن است در شرایط اختلال زنجیره تأمین، آسیب‌پذیری سازمان را افزایش دهد. به‌طور مشابه، افزایش تنوع محصول و سرعت

از توزیع برابر منابع، تلاش در جهت رفع نیازهای اساسی مردم، حمایت از تنوع در جامعه و سرمایه‌گذاری در منابع انسانی و اجتماعی است که از طریق آن‌ها، اهداف کلیدی اقتصادی و زیست‌محیطی تحقق می‌یابد (جمال امید و همکاران، ۱۴۰۳).

نتیجه‌ها و بحث

در سال‌های اخیر، ادبیات از بررسی مجزای پارادایم‌های تولیدی به سمت تحلیل هم‌زمان و یکپارچه آن‌ها حرکت کرده است. اعتماد و همکاران (۲۰۲۶) در یک مطالعه تجربی نشان دادند که پارادایم‌های ناب، چابک، تاب‌آور و سبز با عملکرد پایداری زنجیره تأمین رابطه معنادار دارند و این رابطه از طریق عوامل حیاتی موفقیت نیز تقویت می‌شود. یافته‌های آنان نشان می‌دهد که یکپارچه‌سازی پارادایم‌ها نه تنها از نظر نظری قابل دفاع است، بلکه در سطح تجربی نیز می‌تواند به بهبود عملکرد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی منجر شود. این موضوع پشتوانه‌ای برای طرح چارچوب‌های مفهومی تلفیقی در حوزه تولید پایدار فراهم می‌کند. از طرف دیگر، ترادیلوها و همکاران (۲۰۲۶) نیز بیان می‌دارند که SMEها به دلیل پیچیدگی روش شناختی بالا و غفلت از بعد اجتماعی، در ادغام

جدول ۳- مفاهیم کلیدی پارادایم‌های تولیدی (منبع: یافته‌های محقق)

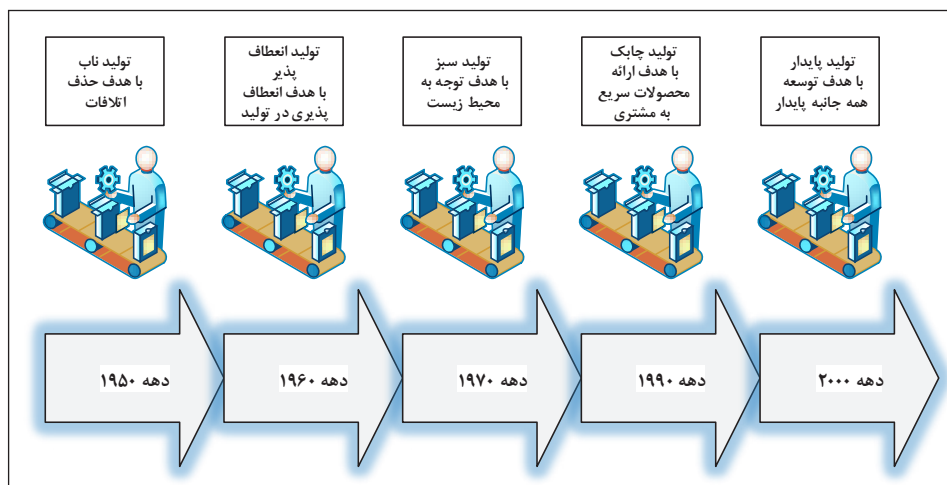
پارادایم	هدف اصلی	ابزارها	شاخص‌های کلیدی	موانع اجرا در SMEها
ناب	حذف اتلاف و افزایش ارزش	SS، کایزن، JIT، کانبان، نقشه‌برداری جریان ارزش	زمان تحویل، موجودی، ضایعات، بهره‌وری	مقاومت کارکنان، ضعف آموزش
انعطاف‌پذیر	سازگاری با تغییرات محصول و حجم	سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر، آموزش چند مهارتی، ماژولار کردن	زمان تغییر، تنوع محصول، استفاده از ظرفیت	هزینه فناوری و پیچیدگی
چابک	پاسخ سریع به بازار و مشتری	همکاری شبکه‌ای، فناوری اطلاعات، طراحی سریع	زمان پاسخ، سرعت توسعه، رضایت مشتری	ضعف اطلاعات و شبکه تأمین
سبز	کاهش اثرات زیست‌محیطی	طراحی سبز، بازیافت، کاهش مصرف انرژی	انتشار، مصرف انرژی، ضایعات	هزینه اولیه و نبود تخصص
پایدار	توازن اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی	ارزیابی چرخه عمر، مسئولیت اجتماعی، خرید پایدار	سودآوری، انتشار، ایمنی، عدالت اجتماعی	دشواری اندازه‌گیری چندبعدی

پاسخ‌گویی ممکن است موجب پیچیدگی بیشتر فرایند، مصرف منابع و افزایش ضایعات شود؛ بنابراین، ادغام پارادایم‌ها باید به‌صورت اقتضایی و براساس اولویت‌های راهبردی، منابع و قابلیت‌های شرکت انجام شود و نمی‌توان ترکیب یکسانی را برای همه شرکت‌های کوچک و متوسط تجویز کرد. همان‌طور که بابر و میتال (۲۰۲۵) در پژوهش خود بیان می‌دارند ناب بودن، چابکی و نوآوری تأثیر مطلوب و قابل‌توجهی بر پایداری عملکرد شرکت‌های کوچک و متوسط دارند.

پس از ظهور انقلاب صنعتی در اوایل قرن بیستم و ظهور فلسفه تولید انبوه، صنایع با مبدأ شرکت خودروسازی فورد آمریکا، توانستند به موفقیت‌های عظیمی در تولید کالا و محصولات دست یابند. در این سال‌ها اولویت اصلی مشتریان تنها دستیابی به کالا و محصولات موردنیاز بود. پس از آن و با ظهور خیل عظیمی از صنایع و تولید کالاهای مشابه، اولویت مشتریان افزون‌بر دسترسی به کالا، به سمت خرید کالا باقیمت مناسب تغییر کرد. در سال‌های پایانی جنگ جهانی دوم، فلسفه تولید ناب باهدف کاهش هدررفت و به‌دنبال آن کاهش هزینه‌های تولیدی که منجر به تولید محصولات رقابت‌پذیر می‌شود، در شرکت خودروسازی تویوتا در ژاپن مطرح شد؛ بنابراین نقطه شروع فلسفه تولید ناب مربوط به دهه ۱۹۵۰ است. از آنجایی‌که پیشرفت‌های زیادی در تولید محصولات ایجاد شد و مشتریان به‌دنبال محصولات به‌روزتر و نوآورانه‌تر علاقه‌مند شدند، نیاز به انعطاف‌پذیری در سامانه‌های تولیدی احساس شد؛ بنابراین سامانه‌های ساخت و تولید انعطاف‌پذیر به‌عنوان پاسخی به تقاضاهای بازار با افزایش تنوع تولید، دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت و تقاضاهای نامعلوم در دهه ۱۹۶۰ به‌وجود آمدند. پس از آن، چابکی به‌عنوان ابزاری برای پاسخ به تغییرات و خواسته‌های مشتریان در دهه ۱۹۹۰ توسط شرکت‌های اروپایی مطرح شد. فلسفه تولید انعطاف‌پذیر با پارادایم تولید چابک به‌طور کامل متفاوت است؛ زیرا تولید

انعطاف‌پذیر به زمان پاسخ‌گویی طولانی‌تری برای سازگاری با تغییرات غیرمنتظره در تغییرات محصول نیاز دارد. در تولید چابک، نیاز بیشتری به عملیات مشترک بخش‌های مختلف تولیدی نسبت به عملیات مرسوم تولید انعطاف‌پذیر وجود دارد. به‌عبارت‌دیگر، تولید چابک بر مدیریت زمان تمرکز دارد درحالی‌که تولید انعطاف‌پذیر بر اندازه‌گیری شایستگی‌ها متمرکز است.

به‌دنبال تخریب محیط‌زیست و آلودگی‌های به‌جامانده از تولید انبوه در شروع انقلاب صنعتی، تولید سبز باهدف بهبود هم‌زمان عملکرد اقتصادی و زیست‌محیطی در دهه ۱۹۷۰ مطرح شد. بهبود اقتصادی با کاهش هزینه خرید مواد، کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار زباله منعکس می‌شود؛ بنابراین تغییرات سلیقه مشتریان و اهمیت آن‌ها به حفظ محیط‌زیست، در کنار دسترسی به محصول، هزینه محصول و تنوع بالای محصولات با سرعت و حفظ کیفیت، فلسفه تولید سبز و تولید محصولات سازگار با محیط‌زیست را ایجاد کرد. به‌دنبال آن، مفهوم توسعه پایدار از اواخر دهه ۱۹۹۰ با تکیه بر جنبه‌های توسعه انسانی و در ارتباط با محیط‌زیست و نسل‌های آینده مطرح شد. توسعه پایدار فرایندی است برای به‌دست آوردن پایداری در هر فعالیتی که نیاز به منابع و جای‌گزینی سریع و یکپارچه آن وجود دارد. به‌عبارت‌دیگر، توسعه پایدار در کنار رشد اقتصادی و توسعه بشری در یک جامعه یا یک اقتصاد توسعه‌یافته، سعی در تحصیل توسعه مستمر، ورای توسعه اقتصادی دارد. ازاین‌رو است که شرکت‌های تولیدی که به مسئولیت‌های اجتماعی خود اهمیت بیشتری می‌دهند، از دیدگاه مشتریان دارای امتیازات بهتری نسبت به سایر شرکت‌ها هستند. شکل (۲) سیر بروز فلسفه‌های تولیدی را در گذر زمان نشان می‌دهد. اگرچه برخی از فلسفه‌های تولیدی در زمان‌های متفاوتی به‌سرعت رشد کردند، ولی خواستگاه و ریشه اولیه آن‌ها را می‌توان بدین‌صورت بیان کرد.



شکل ۲- سیر زمانی بروز سامانه‌های تولیدی (منبع: یافته‌های پژوهشگر)

نامیده می‌شود که کلیدواژه فلسفه تولیدی انعطاف‌پذیر است. چالش جهانی حفاظت از محیط‌زیست، بسیاری از شرکت‌ها را ترغیب کرد که از سیاست‌های سیستم مدیریت زیست‌محیطی پیروی کرده و فرایندهای تولیدی و محصول خود را سبز کنند و سیستم تولید سبز مطرح و گسترش یافت. به‌دنبال آن، صنایع تولیدی جهت تولید پایدار و حفظ توازن، افزون‌بر موضوعات زیست‌محیطی، به اثرات اجتماعی کسب‌وکار گرایش یافته و ایده تولید پایدار مطرح شد.

با تحلیل و بررسی فرایندهای مختلف تولید از نظر ویژگی‌ها و مزایا، می‌توان دریافت که کارایی عملیات تولید و همچنین حذف کلیه فعالیت‌های بی‌فایده که ارزشی ندارند، در همه آن‌ها مشترک است. ویژگی اصلی در تولید ناب، انعطاف‌پذیر و چابک، کاهش زمان پاسخ‌گویی به مشتری است و در این مسیر هر کدام از این فلسفه‌های تولیدی بر روشی متفاوت تمرکز می‌کنند. تولید ناب با حذف فعالیت‌های غیرضرور، تولید انعطاف‌پذیر با تغییر روش تولید و تولید چابک با درک سریع تغییرات مشتری در بازار به‌دنبال کاهش زمان تولید و ارائه محصول به مشتریان هستند. از نظر منبع‌گرایی، بسته به نوع محصول تولیدی، رویکردهای متفاوتی در فرایندهای تولید وجود دارد. هدف برخی از مدیران، کاهش هزینه‌های تولید ناب و انعطاف‌پذیر است؛ درحالی‌که

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که پنج پارادایم موردبررسی را نمی‌توان فقط به‌عنوان گزینه‌های رقیب و جای‌گزین یک‌دیگر در نظر گرفت. هر پارادایم به یک مسئله غالب در محیط تولید پاسخ می‌دهد: تولید ناب به مسئله اتلاف و ناکارایی، تولید انعطاف‌پذیر به مسئله تغییرات عملیاتی، تولید چابک به مسئله نوسان و سرعت بازار، تولید سبز به مسئله آثار زیست‌محیطی و تولید پایدار به مسئله توازن میان عملکرد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی؛ بنابراین، تفاوت اصلی آن‌ها در اولویت راهبردی و دامنه ارزش ایجادشده است، نه در بی‌ارتباط بودن کامل با یک‌دیگر. در جدول (۴) فلسفه‌های تولیدی براساس تمرکز هر سیستم تولید، اصول پایه‌ای، فرایندهای تولید محصول، مفهوم اتلاف در هر سیستم تولیدی و دیدگاه نسبت به مشتریان دسته‌بندی شده است. تولید ناب با کاهش فعالیت‌های بدون ارزش‌افزوده در فرایندهای تولید سروکار دارد و تولید چابک بر روی مقابله با تقاضاهای متغیر مشتریان با حفظ هزینه و کیفیت تمرکز دارد. برای بسیاری از شرکت‌ها، مفهوم ناب و چابک مشابه به نظر می‌رسد. بااین‌حال، راهبرد ناب از منابع محدود استفاده می‌کند درحالی‌که راهبرد چابک با تغییرات ناگهانی سروکار دارد. توانایی هر شرکت برای مقابله با اختلالات و خطرات محیط بیرون سازمان بدون تأثیر بر جریان زنجیره تأمین، انعطاف‌پذیری

برخی دیگر دغدغه محیط‌زیست و مسئولیت آن را دارند؛ مانند تولید سبز و پایدار. در مورد تولید چابک، هدف آن کاهش هزینه منابع نیست، بلکه تنها تطبیق سریع با نیازهای مشتری و رفع نیازهای آن‌ها اولویت دارد. در عین حال، صرف نظر از نوع فرایند ساخت، همه فلسفه‌های تولیدی به دنبال ارائه محصولات باکیفیت بوده‌اند و برای بهبود کیفیت تلاش کرده‌اند.

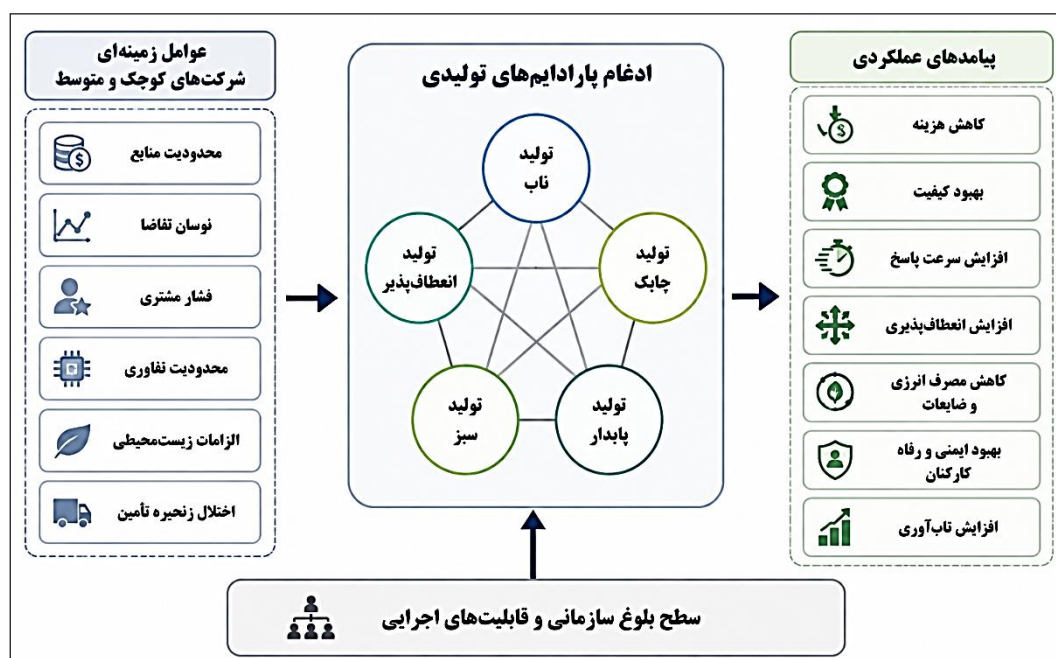
جدول ۴- مقایسه فرایندهای تولید مدرن (ناب، انعطاف‌پذیر، سبز، چابک، پایدار) (منبع: یافته‌های پژوهشگر)

کلیدواژه‌ها	تولید ناب	تولید انعطاف‌پذیر	تولید سبز	تولید چابک	تولید پایدار
تمرکز اصلی	افزایش ارزش برای مشتریان در عین کاهش مصرف منابع و زمان از طریق حذف هدررفت	تغییر سریع فرایندهای تولیدی جهت تولید محصول با فناوری روز	کاهش اثرات زیست‌محیطی و به حداقل رساندن خطرات سلامتی در کل چرخه عمر محصول	برآوردن تقاضای مشتری در کمترین زمان ممکن	تعالیل بین اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی
اصول پایه	اصول ناب (تفکر بلندمدت، حذف ضایعات، تعهد به مردم، بهبود مستمر)	اصول انعطاف‌پذیری (تغییرپذیری فرایندها، تنظیم‌پذیری منابع، استفاده از فناوری، توانایی تولید محصولات متنوع، مدیریت عرضه و تقاضا، همکاری و تعامل)	اصول سبز (تمرکز بر پیشگیری از آلودگی‌ها، کاهش مواد سمی، طراحی برای محیط‌زیست)	اصول چابک (رفاه مشتری، افراد و اطلاعات، همکاری داخلی و خارجی، تناسب با تغییر)	اصول پایدار (استفاده صحیح از مواد، انرژی و منابع طبیعی، کمک به حفظ محیط‌زیست، توسعه اجتماع و عدالت اجتماعی، بهبود عملکرد اقتصادی صنعت و کارکنان)
فرایند تولید / طراحی محصول	تمرکز بر افزایش کیفیت و عملکرد در کنار کاهش هزینه‌ها	تمرکز بر انعطاف‌پذیری و سرعت در خطوط تولیدی و فرایندها	تمرکز بر اهداف محیط زیستی، بهداشتی و ایمنی در طول چرخه عمر محصول	تمرکز بر تحویل سریع محصولات باکیفیت بالا براساس خواسته مشتری	تمرکز بر سودآوری زنجیره تأمین در کنار حداکثرسازی رفاه اجتماعی و به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی
اتلاف	هفت اتلاف (حمل و نقل، موجودی‌ها، حرکات اضافی، زمان انتظار، اضافه تولید، پردازش اضافی، تولید معیوب)	زمان (از دست دادن زمان برای تولید محصولات متنوع، بازدهی ثابت و کیفیت بالا به بازار)	زباله‌های سبز (زباله‌های جامد، زباله‌های خطرناک، آلودگی هوا، تخلیه فاضلاب)	زمان (از دست دادن زمان برای درک سلاقی مشتریان و بازار و تولید محصولات متنوع و ارائه سریع به بازار)	عدم همکاری و عدم مدیریت مواد، اطلاعات و سرمایه جهت دستیابی به اهداف سه گانه توسعه پایدار
مشتریان	ارائه خدمات و محصولات باکیفیت بالا و قیمت پایین	ارائه خدمات و محصولات متنوع و باکیفیت	ارائه خدمات و محصولات سازگار با محیط‌زیست	ارائه خدمات و محصولات باکیفیت در سریع‌ترین زمان ممکن و افزایش رضایت	ارائه خدمات و محصولات سازگار با محیط‌زیست و توجه به مسئولیت‌های اجتماعی
افق زمانی	کوتاه مدت و عملیاتی	میان مدت	میان مدت و بلندمدت	کوتاه مدت و بازار محور	بلندمدت
شاخص‌های اصلی	هزینه، کیفیت، زمان	تغییرپذیری، ظرفیت	انرژی، انتشار، ضایعات	سرعت، نوآوری	اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی
ابزارهای کلیدی	JIT، SS، کایزن	FMS، چند مهارتی بودن	طراحی سبز، بازیافت	ICT، همکاری شبکه‌ای	LCA، مسئولیت اجتماعی
محدودیت مهم	خطر کاهش انعطاف	هزینه فناوری	هزینه اولیه	پیچیدگی و هزینه	دشواری اندازه‌گیری
تناسب با SME	زیاد، با اجرای مرحله‌ای	متوسط	وابسته به منابع	متوسط تا زیاد	نیازمند بلوغ سازمانی

چابکی ایجاد کند. در مرحله سوم، شاخص‌های زیست‌محیطی و اجتماعی را در ارزیابی عملکرد وارد کند. این توالی می‌تواند از پراکندگی اقدامات و تحمیل هزینه‌های هم‌زمان جلوگیری کند. شکل (۳)، چارچوب پیشنهادی را نشان می‌دهد که انتخاب و ادغام پارادایم‌های تولیدی تحت تأثیر عوامل زمینه‌ای شرکت‌های کوچک و متوسط، از جمله منابع، قابلیت‌های فناورانه، نوسان تقاضا و الزامات محیط‌زیستی قرار دارد. این پارادایم‌ها از طریق سازوکارهای عملیاتی و مدیریتی بر ابعاد اقتصادی، عملیاتی، زیست‌محیطی، اجتماعی و تاب‌آوری اثر می‌گذارند.

چارچوب مفهومی ارائه‌شده در شکل (۳) نشان می‌دهد که ادغام پارادایم‌های تولیدی در شرکت‌های کوچک و متوسط باید با رویکردی اقتضایی انجام شود. شرکت‌های کوچک و متوسط به دلیل محدودیت منابع، ضعف زیرساخت‌های فناورانه، وابستگی بیشتر به مشتریان و تأمین‌کنندگان و آسیب‌پذیری در برابر اختلالات بازار، نمی‌توانند الگوهای تولیدی را به‌صورت

برای تولید انعطاف‌پذیر و چابک، سفارشی‌سازی محصول یک ویژگی مشترک است. همچنین دستیابی به محصولات نوآورانه از ویژگی‌های تولید چابک، سبز و پایدار است. این موضوع نشان‌دهنده تمرکز بالا در این فلسفه‌های تولیدی بر کارمندان است. کارمندانی با مهارت‌های مختلف و متنوع که توانایی کار خوب تیمی دارند و برای چالش‌ها آماده‌اند. اما در فلسفه‌های تولیدی ناب و انعطاف‌پذیر بیشتر بر کارمندان متخصص که توانایی تغییر روش تولید و مهارت‌های سخت‌افزاری دارند، نیاز است. در شرکت‌های کوچک و متوسط، اجرای هم‌زمان همه ابزارها و الزامات این پارادایم‌ها ممکن است به دلیل محدودیت منابع، کمبود مهارت تخصصی و ضعف زیرساخت اطلاعاتی امکان‌پذیر نباشد. از این‌رو، اجرای مرحله‌ای پیشنهاد می‌شود. در مرحله نخست، شرکت می‌تواند با شناسایی اتلاف‌ها، بهبود جریان فرایند و استانداردسازی عملیات، اصول تولید ناب را توسعه دهد. در مرحله دوم، با آموزش نیروی انسانی، افزایش قابلیت تغییر و بهبود اطلاعات بازار، ظرفیت‌های انعطاف‌پذیری و



شکل ۳- چارچوب مفهومی انتخاب و ادغام پارادایم‌های تولیدی در شرکت‌های کوچک و متوسط (منبع: یافته‌های پژوهشگر)

یکسان و بدون توجه به شرایط زمینه‌ای اجرا کنند. از این رو، انتخاب میان تولید ناب، انعطاف‌پذیر، چابک، سبز و پایدار باید براساس ترکیبی از عوامل داخلی و خارجی انجام گیرد. از منظر داخلی، منابع مالی، مهارت کارکنان، حمایت مدیریت، فرهنگ بهبود مستمر و سطح بلوغ فرایندی بر امکان اجرای این پارادایم‌ها اثرگذارند. از منظر خارجی نیز نوسان تقاضا، فشار مشتری، الزامات قانونی و زیست‌محیطی و ریسک اختلال در زنجیره تأمین، نوع پارادایم مناسب را تعیین می‌کنند. برای مثال، در محیط‌هایی که فشار اصلی بر کاهش هزینه و افزایش بهره‌وری است، تولید ناب می‌تواند نقطه شروع مناسبی باشد. در مقابل، در محیط‌هایی با تنوع محصول و تغییرات سریع تقاضا، تولید انعطاف‌پذیر و چابک اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند. همچنین در صنایعی که با فشارهای زیست‌محیطی و اجتماعی مواجه‌اند، تولید سبز و پایدار باید در مرکز تصمیم‌گیری قرار گیرد؛ بنابراین، چارچوب پیشنهادی بیان می‌کند که ارزش اصلی ادغام پارادایم‌ها در ایجاد توازن میان اهداف گاه متعارض نهفته است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که پنج پارادایم ناب، انعطاف‌پذیر، چابک، سبز و پایدار نه به‌عنوان رویکردهایی رقیب، بلکه به‌مثابه مجموعه‌ای از قابلیت‌های مکمل قابل تفسیرند. با این حال، ادغام آن‌ها در SMEها باید متناسب با سطح بلوغ سازمان، محدودیت منابع، فشارهای بازار و الزامات زیست‌محیطی انجام شود. از این منظر، تولید ناب می‌تواند زیربنای کاهش اتلاف و استانداردسازی را فراهم کند، تولید انعطاف‌پذیر و چابک پاسخ‌گویی به تغییرات را تقویت کنند، و تولید سبز و پایدار جهت‌گیری بلندمدت سازمان را به سمت مسئولیت‌پذیری محیطی و اجتماعی هدایت کنند؛ بنابراین، کاربست هم‌زمان این پارادایم‌ها نیازمند توالی‌گذاری هوشمند و اولویت‌بندی مرحله‌ای است، نه اجرای یکسان و هم‌زمان برای همه سازمان‌ها. یافته‌های این پژوهش با مطالعات اخیر هم‌راستا است که بر ضرورت حرکت از رویکردهای تک

پارادایمی به مدل‌های یکپارچه تأکید دارند. از یک سو، سیگل و همکاران (۲۰۲۴) نشان می‌دهند که در SMEها، پیاده‌سازی تولید سبز - ناب و پایداری تنها در صورتی موفق خواهد بود که چارچوبی نظام‌مند برای غلبه بر موانع اجرایی وجود داشته باشد. از سوی دیگر، اعتماد و همکاران (۲۰۲۶) نشان می‌دهند که ادغام ناب، چابک، تاب‌آور و سبز می‌تواند به بهبود عملکرد پایدار زنجیره تأمین منجر شود. ترادیلوها و همکاران (۲۰۲۶) نیز بیان می‌دارند که مدل‌های فعلی فاقد یکپارچگی اجتماعی و مقیاس‌پذیری عملی برای محیط‌های با منابع محدود مثل SMEها هستند. بر این اساس، چارچوب پیشنهادی این پژوهش نیز بر این اصل استوار است که هم‌افزایی میان پارادایم‌ها زمانی پژوهشگر می‌شود که روابط، توالی اجرا و الزامات سازمانی آن‌ها به‌صورت یکپارچه دیده شود. شرکت‌های کوچک و متوسط باید میان کاهش هزینه، افزایش سرعت، انعطاف‌پذیری، رعایت الزامات زیست‌محیطی، بهبود شرایط اجتماعی و افزایش تاب‌آوری تعادل برقرار کنند. این تعادل از طریق اجرای مرحله‌ای، ارزیابی مداوم شاخص‌های عملکرد و انطباق پارادایم‌ها با سطح بلوغ سازمانی به‌دست می‌آید.

نتیجه‌گیری

امروزه الگوها و فلسفه‌های مختلف در حوزه تولید محصولات و خدمات، توجه بسیاری از شرکت‌های تولیدی را به خود جلب کرده است. همه شرکت‌های تولیدی به دنبال بهبود عملکرد خود و افزایش سودآوری هستند. از تولید ناب که باهدف کاهش هدررفت مطرح شد تا تولید پایدار که به دنبال توسعه همه‌جانبه اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است، همگی برای رسیدن به سودآوری در تلاش هستند. هر یک از دیدگاه‌های مطرح شده (ناب، انعطاف‌پذیر، چابک، سبز، پایدار) دارای مزیت‌ها و نقاط قوت خاص خود بوده و در شرایط خاص، از حداکثر کارایی برخوردارند. درواقع می‌توان از هر سیستمی یا ترکیبی از چند

با اصول تولید ناب آغاز کنند و پس از ایجاد ثبات در فرایندها، قابلیت‌های انعطاف‌پذیری، چابکی، سبز و پایداری را به صورت مرحله‌ای توسعه دهند. مهم‌ترین دستاورد مفهومی پژوهش، تأکید بر مکمل بودن این پارادایم‌ها و ضرورت انتخاب اقتضایی آن‌هاست. باوجود هم‌افزایی‌هایی مانند ارتباط میان کاهش اتلاف و کاهش مصرف منابع، یا ارتباط میان انعطاف‌پذیری و پاسخ‌گویی سریع، برخی تعارض‌ها نیز وجود دارد. از این رو، ادغام پارادایم‌ها باید با استفاده از شاخص‌های عملکرد متوازن و متناسب با شرایط هر شرکت انجام شود. براساس یافته‌های این پژوهش، هیچ‌یک از پارادایم‌های ناب، انعطاف‌پذیر، چابک، سبز و پایدار به تنهایی پاسخ‌گوی همه نیازهای SMEها نیست. ارزش اصلی پژوهش حاضر در این است که نشان می‌دهد این پارادایم‌ها باید به صورت یک سیستم مکمل و متناسب با شرایط سازمان دیده شوند. به طور خاص، SMEها بهتر است نخست بر کاهش اتلاف و تثبیت فرایندها تمرکز کنند و سپس باتوجه به سطح آمادگی سازمان، قابلیت‌های انعطاف‌پذیری، چابکی و درنهایت الزامات سبز و پایدار را توسعه دهند. این نتیجه با رویکرد مرحله‌ای مطرح‌شده در سیگل و همکاران (۲۰۲۴) و شواهد تجربی اعتماد و همکاران (۲۰۲۶) درباره اثر هم‌افزایی پارادایم‌های تلفیقی سازگار است. براساس یافته‌های به دست آمده از تحلیل هم‌افزایی، تعارضات و چارچوب مفهومی ارائه‌شده برای ادغام پارادایم‌های پنج‌گانه در شرکت‌های کوچک و متوسط، پیشنهاد‌های زیر در دو سطح کاربردی و پژوهشی ارائه می‌شود.

پیشنهاد‌های کاربردی و مدیریتی:

۱. اجرای توالی‌محور و مرحله‌ای به جای استقرار هم‌زمان: باتوجه به محدودیت شدید منابع مالی و دانشی در SMEها، نتیجه‌ها نشان می‌دهد پیاده‌سازی هم‌زمان هر پنج پارادایم به شکست منجر می‌شود. پیشنهاد می‌شود مدیران براساس نقشه

سیستم باتوجه به شرایط و ویژگی‌های مختلف سازمان‌ها و سامانه‌های تولیدی، استفاده کرد. نتیجه‌های این پژوهش نشان داد که تولید ناب، انعطاف‌پذیر، چابک، سبز و پایدار، پنج رویکرد متمایز اما مرتبط برای پاسخ‌گویی به چالش‌های نوین تولید هستند. تولید ناب به طور عمده باهدف حذف اتلاف و افزایش کارایی، تولید انعطاف‌پذیر باهدف سازگاری فرایند و ظرفیت، تولید چابک باهدف پاسخ‌گویی سریع به تغییرات بازار، تولید سبز باهدف کاهش آثار زیست‌محیطی و تولید پایدار باهدف ایجاد توازن میان عملکرد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی شکل گرفته‌اند. پارادایم پایدار هنوز در مرحله نوپایی قرار دارد و معیارهای عملکردی آن به طور کامل مشخص نیست. غیر از مفهوم تولید ناب که مطالعات گسترده‌ای در خصوص آن انجام شده است، سایر پارادایم‌های تولیدی چابک، انعطاف‌پذیر، سبز و پایدار به سطح شرکت محدود شده‌اند و هنوز به طور کامل در کل فرایند زنجیره تأمین شرکت‌ها بررسی نشده‌اند. به عبارت دیگر، مطالعات بیشتری باید در زمینه توسعه، تعامل و هم‌افزایی فلسفه‌های تولیدی انجام گیرد. از این رو باید معیارهای عملکردی هر کدام از فلسفه‌های تولیدی برای هر صنعت تهیه و تدوین شود. هم‌چنین میزان هم‌افزایی هر کدام از فلسفه‌های تولیدی مانند ناب - چابک، ناب - سبز و... مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان از یک الگو و سیستم تولیدی هدفمند استفاده کرد. ترکیب پارادایم تولیدی ناب - انعطاف‌پذیر - سبز - چابک - پایدار می‌تواند در بهبود صنعت تولیدی تأثیر بسزایی داشته باشد. براساس یافته‌های مقایسه‌ای، هیچ‌یک از این پارادایم‌ها را نمی‌توان به عنوان بهترین گزینه برای همه شرکت‌های کوچک و متوسط معرفی کرد. انتخاب مناسب به عواملی مانند نوع صنعت، نوسان تقاضا، سطح تنوع محصول، منابع مالی، قابلیت‌های فناوری، الزامات قانونی، فشارهای زیست‌محیطی و سطح بلوغ سازمانی بستگی دارد. با این حال، می‌توان پیشنهاد کرد که بسیاری از شرکت‌های کوچک و متوسط اجرای خود را

راه پیشنهادی، پیاده‌سازی را از «تولید ناب» (به‌عنوان بستر تثبیت فرایند و کاهش اتلاف) آغاز کرده، پس از دستیابی به ثبات عملیاتی، قابلیت‌های «انعطاف‌پذیری و چابکی» را برای پاسخ به نوسانات بازار فعال کنند و در گام نهایی، با تعبیه شاخص‌های «سبز و پایداری»، مسئولیت‌پذیری زیست‌محیطی و اجتماعی را نهادینه سازند.

۲. مدیریت تعارض ذاتی میان چابکی و ناب‌سازی: نتیجه‌های تحلیل نشان داد که کاهش شدید موجودی در تولید ناب ممکن است تاب‌آوری و چابکی شرکت را در مواجهه با نوسانات بازار تضعیف کند؛ از این‌رو پیشنهاد می‌شود مدیران SMEها از سیاست «بافرینگ ظرفیت و اطلاعات» به جای «بافرینگ موجودی فیزیکی» استفاده کنند تا هم‌زمان به کارایی هزینه (ناب) و سرعت پاسخ‌گویی (چابک) دست یابند.

۳. بهره‌گیری از هم‌پوشانی تولید ناب و سبز جهت توجیه‌پذیری اقتصادی: تحلیل ابعاد نشان داد که کاهش ضایعات در پارادایم ناب به‌طور مستقیم به کاهش مصرف مواد و انرژی در پارادایم سبز منجر می‌شود. مدیران SMEها باید پروژه‌های اولیه محیط‌زیستی خود را بر اقداماتی متمرکز کنند که توجیه صرفه‌جویی اقتصادی مشهود دارند (مانند کاهش ضایعات خط و بازیافت حین تولید) تا بازگشت سرمایه، انگیزه لازم برای سرمایه‌گذاری‌های عمیق‌تر پایداری را فراهم کند.

۴. استقرار نظام شاخص‌های عملکردی متوازن (چندبعدی):

بر مبنای چارچوب مفهومی پژوهش، سیستم‌های سنتی حسابداری مدیریت در SMEها کارایی لازم را برای ادغام ندارند؛ پیشنهاد می‌شود داشبورد مدیریتی شرکت‌ها شاخص‌های چندگانه (شامل زمان چرخه، نرخ بازیافت، زمان پاسخ به تغییر تقاضا و شاخص‌های رضایت کارکنان) را هم‌زمان پایش کند تا

مراجع

- جمال‌امیدی، اسحق؛ کرامتی، محمدعلی؛ رجبیون، مهدی؛ مهری‌نژاد، صفیه. (۱۴۰۳). ارائه الگوی سیستم‌های مدیریت هوشمند برای

از بهینه‌سازی موضعی جلوگیری شود.

در ادامه به پژوهشگران آتی پیشنهاد می‌شود با استفاده از فن‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی (مانند Fuzzy BWM یا DEMATEL) به وزن‌دهی و اولویت‌بندی روابط علی میان پارادایم‌های پنج‌گانه در صنایع مختلف SME بپردازند. هم‌چنین بر مبنای الگوهای تجربی نوین مانند اعتماد و همکاران (۲۰۲۶) و پژوهش حاضر پیشنهاد می‌شود اثر میانجی قابلیت‌های LARG بر ابعاد سه‌گانه پایداری (اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی) از طریق مدل‌سازی معادلات ساختاری در سطح خوشه‌های صنعتی SME آزمون شود. بررسی و ارزیابی نقش متغیرهای تعدیل‌کننده نظیر «شدت پویایی محیط»، «سطح بلوغ دیجیتال (صنعت ۴.۰ و ۵.۰)» و «فشارهای قانونی زنجیره تأمین» بر اثربخشی این چارچوب مفهومی نیز می‌تواند مبنای پژوهش‌های آتی قرار گیرد.

پژوهش حاضر با چند محدودیت مواجه است. نخست، مطالعه حاضر مبتنی بر مرور ادبیات و تحلیل مفهومی است و داده تجربی مستقیمی از شرکت‌های کوچک و متوسط گردآوری نشده است. دوم، چارچوب مفهومی پیشنهادی در یک صنعت یا سازمان مشخص آزمون و اعتبارسنجی نشده است. سوم، تفاوت در تعاریف و شاخص‌های مورد استفاده برای پارادایم‌های تولیدی، مقایسه مستقیم آن‌ها را با محدودیت مواجه می‌کند. چهارم، شرایط زمینه‌ای کشورها و صنایع مختلف ممکن است بر قابلیت اجرای هر پارادایم تأثیر بگذارد؛ بنابراین، تعمیم نتیجه‌ها باید با احتیاط انجام شود. درنهایت، مقاله بیشتر بر سطح سازمان و فرایند تولید تمرکز دارد و ابعاد کامل زنجیره تأمین، از جمله تأمین‌کنندگان، توزیع‌کنندگان و مشتریان نهایی، به‌صورت عمیق بررسی نشده است. □

سیستم‌های تولید پایدار و تاب آور در صنعت سیمان در راستای بهبود توسعه اجتماعی. نشریه مطالعات توسعه اجتماعی ایران، ۱۶(۶۳)، ۱۸۶-۱۶۳.

- سیفی، اسفندیار؛ شهریار، محمدرضا؛ والمحمدی امامچانی، چنگیز؛ جلالی فراهانی، کامبیز. (۱۴۰۳). تدوین مدل تولید ناب - چابک با رویکرد بلاک چین در صنعت طلا و جواهر. مدیریت بازاریابی هوشمند، ۵ (۲۵)، ۲۵۰-۲۲۱.
- Achanga, P., Shehab, E., Roy, R., & Nelder, G. (2006). Critical success factors for lean implementation within SMEs. *Journal of manufacturing technology management*, 17(4), 460-471.
- Ahmed, W., & Sarkar, B. (2018). Impact of carbon emissions in a sustainable supply chain management for a second generation biofuel. *Journal of cleaner production*, 186, 807-820.
- Aityassine, F., Aldiabat, B., Al-Rjoub, S., Aldaihani, F., Al-Shorman, H., & Al-Hawary, S. (2022). The mediating effect of just in time on the relationship between green supply chain management practices and performance in the manufacturing companies. *Uncertain Supply Chain Management*, 9(4), 1081-1090.
- Al-Refaie, A., & Lepkova, N. (2025). A fuzzy LARG index for assessing the lean, agile, resilience, and green paradigms in industrial companies. *Sustainability*, 17(5), 1863.
- Anand, G., & Kodali, R. (2010a). Analysis of lean manufacturing frameworks. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 9(01), 1-30.
- Anand, G., & Kodali, R. (2010b). Development of a framework for implementation of lean manufacturing systems. *International Journal of Management Practice*, 4(1), 95-116.
- Ariffin, S., Yusof, J. M., Putit, L., & Shah, M. I. A. (2016). Factors influencing perceived quality and repurchase intention towards green products. *Procedia Economics and Finance*, 37, 391-396.
- Babber, G., & Mittal, A. (2025). Achieving sustainability through the integration of lean, agile, and innovative systems: implications for Indian micro small medium enterprises (MSMEs). *Journal of Science and Technology Policy Management*, 16(2), 365-400.
- Belhadi, A., Kamble, S. S., Zkik, K., Cherrafi, A., & Touriki, F. E. (2020). The integrated effect of Big Data Analytics, Lean Six Sigma and Green Manufacturing on the environmental performance of manufacturing companies: The case of North Africa. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119903.
- Bending, D., Kleine-Stegemann, L., & Gisa, K. (2023). The green manufacturing framework—A systematic literature review. *Cleaner Engineering and Technology*, 13, 100613.
- Bhamu, J., & Singh Sangwan, K. (2014). Lean manufacturing: literature review and research issues. *International Journal of Operations & Production Management*, 34(7), 876-940.
- Boston Consultancy Group. (2009). The sustainability initiative. Boston Consultancy Group. UK: Boston Consultanct Group.
- Bui, T. D., Nguyen, T. T. V., Wu, K. J., Lim, M. K., & Tseng, M. L. (2024). Green manufacturing performance improvement under uncertainties: An interrelationship hierarchical model. *International Journal of Production Economics*, 268, 109117.
- Chun Wu, Y. (2003). Lean manufacturing: a perspective of lean suppliers. *International Journal of Operations & Production Management*, 23(11), 1349-1376.
- Corrêa, H. L. (1994). Linking Flexibility, Uncertainty and Variability in Manufacturing Systems: Managing un-planned change in the automative industry. First Edition, Avebury Publication.
- Das, M., & Satao, S. (2013). Performance measurement of green manufacturing criteria of Indian SME, s. *Int. J. Eng. Res. Technol*, 2913-2920.
- De Toni, A., & Tonchia, S. (2001). Performance measurement systems-models, characteristics and measures. Interna-

- tional journal of operations & production management, 21(1/2), 46-71.
- Deif, A. M. (2011). A system model for green manufacturing. *Journal of cleaner production*, 19(14), 1553-1559.
 - Delbridge, R. (1998). *Life on the line in contemporary manufacturing: The workplace experience of Lean production and the Japanese' model*. Oxford University Press.
 - Delbridge, R. (2005). *Workers under lean manufacturing. The essentials of the new workplace: A guide to the human impact of modern working practices*, 15-32.
 - Delbridge, R., & Whitfield, K. (2001). Employee perceptions of job influence and organizational participation employee perceptions. *Industrial Relations: A Journal of Economy and Society*, 40(3), 472-489.
 - Dennis, P. (2017). *Lean production simplified: a plain-language guide to the world's most powerful production system*. Productivity Press.
 - Dixon, J. R., Nanni, A. J., & Vollmann, T. E. (1990). *New performance challenge: Measuring operations for world-class competition (irwin/apics series in production management)*. Irwin Professional Publication
 - Eppink, D. J. (1978). Planning for strategic flexibility. *Long Range Planning*, 11(4), 9-15.
 - Etemad, M., Nazari-Shirkouhi, S., Chaharsooghi, S. K., & Govindan, K. (2026). Relationship between lean, agile, resilient and green paradigm and sustainable supply chain performance: an empirical investigation. *Industrial Management & Data Systems*, 126(6), 2046-2081.
 - Fullerton, R. R., McWatters, C. S., & Fawson, C. (2003). An examination of the relationships between JIT and financial performance. *Journal of Operations management*, 21(4), 383-404.
 - Gerwin, D. (1987). An agenda for research on the flexibility of manufacturing processes. *International Journal of Operations & Production Management*, 7(1), 38-49.
 - Gunasekaran, A. (1999). Agile manufacturing: a framework for research and development. *International journal of production economics*, 62(1-2), 87-105.
 - Haleem, A., Javaid, M., Singh, R. P., Suman, R., & Qadri, M. A. (2023). A pervasive study on Green Manufacturing towards attaining sustainability. *Green Technologies and Sustainability*, 1(2), 100018.
 - Hariyani, D., & Mishra, S. (2023). Barriers to the adoption of integrated sustainable-green-lean-six sigma-agile manufacturing system (ISGLSAMS): a literature review. *Benchmarking: An International Journal*, 30(9), 3590-3636.
 - Helo, P., & Hao, Y. (2022). Artificial intelligence in operations management and supply chain management: An exploratory case study. *Production Planning & Control*, 33(16), 1573-1590.
 - Jones, D. T., & Womack, J. P. (2016). The evolution of lean thinking and practice. *The Routledge companion to lean management*, 8, 3.
 - Kleindorfer, P. R., Singhal, K., & Van Wassenhove, L. N. (2005). Sustainable operations management. *Production and operations management*, 14(4), 482-492.
 - Kumar, N., Hasan, S. S., Srivastava, K., Akhtar, R., Yadav, R. K., & Choubey, V. K. (2022). Lean manufacturing techniques and its implementation: A review. *Materials Today: Proceedings*, 64, 1188-1192.
 - Kumar, R., Singh, K., & Jain, S. K. (2020). Agile manufacturing: a literature review and Pareto analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 37(2), 207-222.
 - Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*, McGraw-Hill Education.
 - Lowe, J., & Oliver, N. (1997). High-performance manufacturing: evidence from the automotive components industry. *Organization Studies*, 18(5), 783-798.

- Mishra, U., Wu, J. Z., & Sarkar, B. (2020). A sustainable production-inventory model for a controllable carbon emissions rate under shortages. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120268.
- Mohanty, R. P., Yadav, O. P., & Jain, R. (2007). Implementation of lean manufacturing principles in auto industry. *Vilakshan–XIMB Journal of Management*, 1(1), 1-32.
- Panizzolo, R., Garengo, P., Sharma, M. K., & Gore, A. (2012). Lean manufacturing in developing countries: evidence from Indian SMEs. *Production Planning & Control*, 23(10-11), 769-788.
- Pingyu, Y., & Yu, Y. (2010). The barriers to SMEs' implementation of lean production and countermeasures: based on SMS in Wenzhou. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 1(2), 220-225.
- Rose, A. M. N., Deros, B. M., & Rahman, M. A. (2010, December). Development of framework for lean manufacturing implementation in SMEs. In *The 11th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference* (pp. 7-10).
- Saxena, A., & Srivastava, A. (2022). Industry application of green manufacturing: A critical review. *Journal of Sustainability and Environmental Management*, 1(1), 32-45.
- Sethi, A. K., & Sethi, S. P. (1990). Flexibility in manufacturing: a survey. *International journal of flexible manufacturing systems*, 2, 289-328.
- Shah, R., & Ward, P. T. (2003). Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of operations management*, 21(2), 129-149.
- Shah, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of operations management*, 25(4), 785-805.
- Sharifi, H., & Zhang, Z. (1999). A methodology for achieving agility in manufacturing organisations: An introduction. *International journal of production economics*, 62(1-2), 7-22.
- Shewchuk, J. P. (1999). A set of generic flexibility measures for manufacturing applications. *International journal of production research*, 37(13), 3017-3042.
- Siegel, R., Antony, J., Govindan, K., Garza-Reyes, J. A., Lameijer, B., & Samadhiya, A. (2024). A framework for the systematic implementation of Green-Lean and sustainability in SMEs. *Production Planning & Control*, 35(1), 71-89.
- Singh, B., Garg, S. K., & Sharma, S. K. (2010). Development of index for measuring leanness: study of an Indian auto component industry. *Measuring Business Excellence*, 14(2), 46-53.
- Singh, D., Singh Oberoi, J., & Singh Ahuja, I. (2013). An empirical investigation of dynamic capabilities in managing strategic flexibility in manufacturing organizations. *Management Decision*, 51(7), 1442-1461.
- Sohal, A. S., & Egglestone, A. (1994). Lean production: experience among Australian organizations. *International journal of operations & production management*, 14(11), 35-51.
- Terradillos, E., Matias, J., Navas, H. V., Costa, O., & Mendes, D. (2026). A Conceptual Lean–Sustainability Model for Industrial SMEs. *Sustainability*, 18(8), 3826.
- Türkyılmaz, A., Şenvar, Ö., Ünal, I., & Bulkan, S. (2020). A research survey: heuristic approaches for solving multi objective flexible job shop problems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(8), 1949-1983.
- Veleva, V., & Ellenbecker, M. (2001). Indicators of sustainable production: framework and methodology. *Journal of cleaner production*, 9(6), 519-549.
- Virmani, N., Saha, R., & Sahai, R. (2018). Leagile manufacturing: a review paper. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 23(3), 385-421.

- Virmani, N., Saha, R., & Sahai, R. (2018). Leagile manufacturing: a review paper. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 23(3), 385-421.
- White, R. E., Pearson, J. N., & Wilson, J. R. (1999). JIT manufacturing: a survey of implementations in small and large US manufacturers. *Management science*, 45(1), 1-15.
- Xiong, X., Ma, Q., Wu, Z., & Zhang, M. (2020). Current situation and key manufacturing considerations of green furniture in China: A review. *Journal of Cleaner Production*, 267, 121957.
- Yusuf, Y. Y., Sarhadi, M., & Gunasekaran, A. (1999). Agile manufacturing: The drivers, concepts and attributes. *International Journal of production economics*, 62(1-2), 33-43.
- Zhang, Y., Tang, D., Zhu, H., Li, S., & Nie, Q. (2021). A flexible configuration method of distributed manufacturing resources in the context of social manufacturing. *Computers in Industry*, 132, 103511.

Development of a Conceptual Framework for Integrating Lean, Flexible, Agile, Green, and Sustainable Manufacturing Paradigms in Small and Medium-Sized Enterprises

A. Banihashemi

Associate Prof., Department of Industrial Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

*Corresponding author Email: banihashemi@pnu.ac.ir

Abstract

Small and medium-sized enterprises (SMEs) operate in an environment characterized by rapid changes in customer demand, increased product variety, resource constraints, environmental pressures, and supply chain disruptions. In such conditions, relying on a single manufacturing approach may not be sufficient to simultaneously address the requirements of productivity, flexibility, responsiveness, environmental protection, and social sustainability. This study aims to examine and compare five manufacturing paradigms—namely lean, flexible, agile, green, and sustainable manufacturing—and to identify their areas of synergy and differences within the context of SMEs. This research is applied in terms of its objective and follows a descriptive-comparative method based on a literature review. In this study, the aforementioned paradigms are compared based on their core objectives, environmental drivers, type of value creation, performance indicators, implementation requirements, advantages, and limitations. The results indicate that lean manufacturing primarily emphasizes waste elimination and efficiency improvement; flexible manufacturing focuses on capacity and process adaptability; agile manufacturing centers on responsiveness and innovation; green manufacturing aims at reducing environmental impacts; and sustainable manufacturing strives to balance economic, environmental, and social dimensions. The findings further reveal that these paradigms are not mutually exclusive; rather, their selection or integration must be determined based on contextual conditions, available resources, organizational capabilities, and market requirements. By providing a coherent comparison, this research establishes a foundation for selecting appropriate manufacturing approaches in SMEs. The originality of this study lies in its integrated framework, which moves beyond siloed implementation by addressing the synergistic potential of these paradigms. It fills a critical gap in existing literature by providing a structured roadmap that enables SMEs to strategically align their manufacturing capabilities for enhanced resilience and long-term sustainability.

Keywords: Small and medium-sized enterprises (SMEs), Lean manufacturing, Flexible manufacturing, Agile manufacturing, Green manufacturing, Sustainable manufacturing