فصلنامه مهندسی مدیریت نوین
سال یازدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۴

طراحی مدل استراتژیک زنجیره‌تأمین معکوس هوشمند در صنعت لاستیک‌سازی با رویکرد آمیختهٔ ترکیبی

شیوا سادات موسوی‌پور[۱]، محمود مدیری[۲]، کیامرث فتحی هفشجانی[۳]، غلامرضا هاشم‌زاده خوراسگانی[۴]

چکیده

یکی از استراتژی‌های مدیران در زنجیره‌تأمین، استقرار فناوری‌های هوشمند در زنجیره‌تأمین معکوس برای مدیریت و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و حفظ منابع است. این تحقیق با رویکرد آمیختهٔ ترکیبی (کیفی-کمی) به تحلیل روابط بین ابعاد و معیارهای استراتژیک زنجیره-تأمین معکوس هوشمند در صنعت لاستیک‌سازی پرداخته شده است. جامعه بخش کیفی تحقیق شامل ۱۵ خبره از مدیران ارشد صنایع لاستیک‌سازی می‌باشد که به‌صورت نمونه‌گیری غیراحتمالی هدفمند و با تکنیک گلوله برفی انتخاب شده‌اند. جامعه بخش کمی شامل مدیران کارشناسان صنعت لاستیک‌سازی به تعداد ۲۷۲ نفر می‌باشند. یافته‌های بخش کیفی با تحلیل محتوا ترکیبی (قیاسی-استقرائی) نشان داده شده است که مدل دارای پنج بعد و ۱۷ معیار است. سپس به روش دیمتل فازی، نقشهٔ شبکهٔ روابط بین آن‌ها مشخص شده است. یافته‌ها نشان داده است که ابعاد «هوشمندی استراتژیک»، «زیرساخت‌ها و تکنولوژی»، «سیستم لجستیک» و «یکپارچگی اطلاعات» بر «همکاری استراتژیک با شرکاء» به ترتیب در زنجیره‌تأمین معکوس هوشمند تأثیرگذار هستند. در ادامه روابط با روش مدلسازی معادلات ساختاری آزمون شده است و یافته‌های این بخش نشان داد که رابطهٔ بین «هوشمندی استراتژیک» با «زیرساخت‌ها و تکنولوژی»، «سیستم لجستیک»، «یکپارچگی اطلاعات» و «همکاری استراتژیک با شرکاء» به صورت مثبت و معنی‌دار تأیید شده است. همچنین رابطهٔ بین «زیرساخت‌ها و تکنولوژی» و «سیستم لجستیک» با «یکپارچگی اطلاعات» تأیید گردیده است. نتایج این یافته‌ها نشان می‌دهد

۱- گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول).
M_Modiri@azad.ac.ir

۳- گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۴- گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخ وصول ۱۴۰۳/۸/۲۱ **تاریخ پذیرش ۱۴۰۳/۱۲/۲۲**

که مدیران صنعت لاستیک‌سازی با توسعه جهت گیری‌های استراتژیک و مهیا کردن زیرساخت-ها می‌توانند همکاری و هماهنگی شرکاء را در استقرار زنجیره‌تأمین معکوس هوشمند بهبود دهند.

واژگان کلیدی: زنجیره‌تأمین استراتژیک، لجستیک معکوس، فناوری هوشمند، صنعت لاستیک-سازی.

طبقه‌بندی موضوعی: M15, M10, O14, O29

مقدمه

در سال‌های اخیر، به دلیل افزایش سطح بالای صنعتی شدن جهان اقتصادی، محیط زیست به یک موضوع مهم نگرانی تبدیل شده است (Muchaendepi et al., 2019). در این راستا، زنجیره‌تامین معکوس به دلیل افزایش سطح نگرانی‌های زیست‌محیطی، کاهش منابع و مقررات، مورد توجه بسیاری از دولت‌ها، شرکت‌ها و دانشمندان قرار گرفته است (Doan et al., 2019) و مدیران مجبور شده‌اند تا استراتژی‌های زنجیره-تأمین را از منظر زیست محیطی درنظر بگیرند (Muchaendepi et al., 2019). مدیریت زنجیره‌تأمین معکوس می تواند اثرات منفی زیست‌محیطی را دفع و منابع جدید را استخراج کند که منجر به کاهش هزینه‌های تولید گردد (Singh et al., 2018).

به‌طورکلی می‌توان گفت که زنجیره–تامین معکوس، با مشکلاتی مانند انتقال اطلاعات، عدم اطمینان و پیچیدگی فرآیند بازیافت محصول (که به یک سیستم پردازش اطلاعات پیشرفته نیاز دارد) مواجه شده است (Xu et al., 2012). این پیچیدگی‌ها و مشکلات منجر شده است تا شرکت‌ها به دنبال راه‌حل‌هایی برای بهبود فرآیند کار خود باشند (Issaoui et al., 2019). یکی از راه‌کارهای جهت‌گیری استراتژیک در این خصوص، بکارگیری سیستم‌های اطلاعاتی پیشرفته در مدیریت زنجیره‌تأمین معکوس (Singh et al., 2018). چون فناوری اطلاعات و ارتباطات در زنجیره‌تأمین معکوس می‌تواند عملکرد آن را به میزان قابل توجهی بهبود بخشد (Garrido-Hidalgo et al., 2019).

برای به‌دست آوردن مزایای استراتژیک، به سیستم‌های فناوری اطلاعات (خصوصاً سیستم‌های اطلاعاتی) نیاز است تا سازمان‌ها را قادر سازد که فعالیت‌های لجستیکی را به صورت کارآمد مدیریت کرده و تلفات ناشی از بازده محصول را کاهش دهند

(Mahindroo et al., 2018). در این خصوص، زنجیره‌تأمین هوشمند معکوس[1] (SRSC) می‌تواند با استفاده از فناوری‌های هوشمند اطلاعات، پاسخ را در زمان واقعی بهبود بخشد (Xu et al., 2012). شایستگی‌های فناوری اطلاعات که بر پردازش سریع و دقیق بازده از طریق به‌اشتراک‌گذاری اطلاعات مؤثر متمرکز است، می‌تواند نتایج لجستیکی کلی معکوس را بهبود دهد (Morgan et al., 2016). زنجیره‌های تأمین هوشمند عمدتاً با اتصال اشیاء داخلی، با ذینفعان و همچنین تصمیم‌گیری مناسب توسط سیستم‌های هوشمند و ادغام فرآیند می‌توانند اطلاعات و ارتباطات فرآیندهای خود را بهبود بخشید (Issaoui et al., 2019). کاربردی‌ترین فناوری‌های صنعت نسل چهارم در لجستیک معکوس شامل اینترنت اشیاء، محاسبات ابری، بلاک‌چین و دوقلوی دیجیتال است که امکان یکپارچه‌سازی بازار لجستیک معکوس هوشمند را فراهم می‌کنند (Wanganoo and Tripathi, 2023). استفاده از فناوری برای به‌دست آوردن اطلاعات در مورد جریان مواد و قابلیت ردیابی محصولات در مدیریت زنجیره‌تأمین معکوس ضروری است (Issaoui et al., 2019). هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی می‌تواند برای پیش‌بینی محصولاتی که احتمالاً بازگردانده می‌شوند و اولویت‌بندی پردازش بازگشت بر اساس این اطلاعات مورد استفاده قرار گیرد (Sun et al., 2022). به‌طور کلی، ادغام فناوری جدید در لجستیک معکوس می‌تواند منجر به صرفه‌جویی در هزینه و بهبود پایداری شود (Wanganoo and Tripathi, 2023). اما استفاده از فناوری‌ها با توجه به پیچیدگی های سیستم‌های امروزی، چالش برانگیز است و نیاز است تا دانشمندان و سازمان‌ها بر آن تمرکز کرده تا بتوانند به مزیت رقابتی دست یابند (Singh et al., 2016).

در دسترس نبودن یک چارچوب تعریف شده، پذیرش فناوری‌ها در مدیریت زنجیره‌تأمین معکوس را به شدت محدود می‌کند (Aslam et al., 2021). علیرغم نتایج مفیدی که در ادبیات برجسته شده است، پذیرش فناوری‌های نوظهور توسط سازمان‌ها برای برنامه‌های کاربردی مدیریت زنجیره‌تأمین معکوس در مرحله اولیه است (Yadav et al., 2020;Chauhan et al., 2020). محققان پذیرش فناوری‌های هوشمند در حوزه‌های مختلف بررسی کرده‌اند اما هنوز به طور کامل مشخص نشده است که مدیران

[1] Reverse supply chain

چگونه از این فناوری‌ها برای مدیریت بهتر زنجیره‌تأمین استفاده کنند (Shang et al., 2022). تحقیقات نشان داده اند که بکارگیری فناوری‌های هوشمند یک فرآیند پیچیده است و بسیاری از شرکت‌ها در کشورهای مختلف به دنبال راه‌حل‌هایی برای بکارگیری آن هستند (Luthra and Mangla, 2018). بنابراین، تلاقی صنعت نسل چهارم و مدیریت زنجیره‌تأمین معکوس یک عرصه تحقیقاتی نوظهور است که ارزش بررسی دارد (Bányai et al., 2022). علاوه بر این، هیچ پیشرفت قابل توجهی در جهت توسعه لجستیک معکوس هوشمند که از فناوری‌های مختلف نوظهور و هوشمند برای بهینه‌سازی و بهبود جریان‌های بازگشتی استفاده می‌کند، صورت نگرفته است. همچنین مطالعات بسیار کمی در رابطه با کاربرد فناوری‌های هوشمند در فرآیندهای لجستیک معکوس وجود دارد (Krstić et al., 2020). اینکه چگونه می‌توان ادغام فناوری‌های هوشمند و زنجیره‌تأمین معکوس را برای دستیابی به عملیات زنجیره‌تأمین پایدار پیاده-سازی کرد، یک سوال مهم برای تحقیق است (Kumar et al., 2021). بنابراین، در به‌کارگیری لجستیک معکوس، باید از فناوری‌های هوشمند استفاده شود تا درک و شناخت مدیران از اطلاعات مربوطه برای تصمیم‌گیری و مواجه‌شدن با محصولات لجستیک معکوس بهتر شود. امروزه با افزایش تقاضای خودرو در کشور، تعداد لاستیک-های زباله نیز افزایش یافته است. اما در میان این لاستیک‌های زباله درصد بسیار پایینی استفاده مجدد قرار می‌گیرند به گونه‌ای که انباشت زباله‌های لاستیک بسیار بیشتر از نرخ بازیافت است. لاستیک‌های زباله انباشت شده در محیط موجب آلایندگی منابع و هوا می گردد. علیرغم پتانسیل بسیار زیاد در بازیافت و استفاده مجدد از این محصولات لاستیکی و همچنین ارزش افزوده بالای آن، تولیدکنندگان هنوز نتوانسته‌اند سیستمی مبتنی بر فناوری‌های پیشرفته و هوشمند برای زنجیره‌تأمین معکوس لاستیک‌های زباله طراحی کنند. بنابراین سوال تحقیق عبارت است از این که ابعاد تاثیرگذار مدیریت استراتژیک زنجیره‌تأمین معکوس هوشمند در صنعت لاستیک‌سازی کدامند و ارتباط بین آن‌ها چگونه است و اهمیت آن‌ها به چه ترتیب می‌باشد؟

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

زنجیره‌تأمین معکوس

طبق استاندارد و پذیرفته‌شده‌ترین تعریف، زنجیره‌تأمین معکوس نوعی مدیریت زنجیره‌تأمین است که هدف آن بهینه‌سازی جریان‌های معکوس کالاها از نقطه مصرف تا مبدأ به منظور برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل مناسب و کارآمد دفع مواد، محصولات نهایی و موجودی‌ها، یا بازیابی ارزش آن‌ها از طریق فروش مجدد، نوسازی، تعمیر، ساخت مجدد، یا بازیافت است (Ilgin and Gupta, 2010). لجستیک معکوس بلافاصله با بهینه‌سازی فرآیندها و فعالیت‌هایی که بر شرایط محیطی تأثیر می‌گذارد، مانند کاهش ضایعات و حفظ منابع، بر عملکرد مالی هر شرکت تأثیر می‌گذارد (Le, 2020). در نتیجه، ملاحظات زیست‌محیطی، مانند دفع زباله، انتشار گازهای گلخانه‌ای، و مصرف انرژی در طول تولید، مهم‌ترین اولویت برای توسعه لجستیک معکوس در نظر گرفته می‌شود (Krstić et al., 2020). زنجیره‌های تأمین مستقیم و معکوس از طریق ادغام هدفمند اکوسیستم کسب‌وکار برای ایجاد ارزش از محصولات/خدمات، محصولات جانبی و جریان‌های ضایعات مفید از طریق چرخه‌های عمر طولانی‌مدت، پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی سازمان‌ها را بهبود می‌بخشد (Batista et al., 2018). این گونه سیستم‌ها، به طور سیستماتیک مواد فنی را بازیابی می‌کند و مواد بیولوژیکی را به سمت چشم‌انداز بدون ضایعات از طریق طراحی محصول/خدمات تا پایان عمر و مدیریت ضایعات بازسازی می‌کند (Farooque et al., 2019).

زنجیره‌تأمین معکوس هوشمند

زمینه تحقیق مدیریت زنجیره‌تأمین به طور مداوم در حال ادغام فناوری‌های جدید مانند داده‌های بزرگ، اینترنت اشیاء و بلاک‌چین، رایانش ابری، شناسایی امواج رادیویی تحت عنوان فناوری‌های صنعت نسل چهارم است (Liu and Li, 2019). فناوری‌های صنعت نسل چهارم، به اشتراک‌گذاری اطلاعات و شفافیت را بهبود می‌بخشد که احتمالاً به عملکرد زنجیره‌تأمین برتری می‌رسد. فناوری‌های صنعت نسل چهارم امکان یکپارچه‌سازی فرآیند، اتوماسیون و دیجیتالی‌سازی را فراهم می‌کنند، بنابراین منجر به بهبود در خرید، ساخت، لجستیک و سایر عملکردها می‌شود (Fatorachian and

(Kazemi, 2020). فناوری نوظهور می‌تواند شفافیت را افزایش دهد که برای مدیریت مؤثر زنجیره‌های تأمین طولانی و پیچیده امروزی ضروری است (Bag et al., 2020).

صنعت نسل چهارم به بهبود فرآیندهای موجود، جریان مواد، کاهش کالاهای آسیب دیده و زمان انتظار در سراسر زنجیره‌تأمین کمک می‌کند. زمان‌بندی هوشمند وظایف، شفافیت فرآیند بهبود یافته، انعطاف‌پذیری، کیفیت و سفارشی‌سازی را فراهم می‌کند. علاوه بر این، سیستم‌های انرژی هوشمند به کاهش مصرف انرژی کمک می‌کنند (Sharma et al., 2020). پذیرش دیجیتالی شدن و فناوری‌های هوشمند در کل زنجیره‌تأمین ممکن است لجستیک معکوس و زنجیره‌تأمین حلقه بسته را بهبود بخشد. افزایش کیفیت خدمات با استفاده از فناوری واقعیت افزوده در خدمات نگهداری و تعمیرات در مرحله پس از استفاده امکان‌پذیر خواهد بود. در مرحله لجستیک معکوس، با ادغام افقی و اینترنت اشیاء، امکان جمع‌آوری محصولات از محل آن‌ها پس از استفاده و ارسال آن‌ها به سطوح زنجیره ارزش وجود خواهد داشت که در آن‌جا می‌توان از آن‌ها با برنامه‌های کاهش، استفاده مجدد، بازیافت، بازیابی، طراحی مجدد و ساخت مجدد، مجددا استفاده کرد. فناوری امنیت سایبری برای اجرای موفقیت‌آمیز اصول صنعت نسل چهارم از اهمیت بالایی برخوردار است (Bilgin, 2021).

در پیشینه تحقیق، وانگانو و تریپاتی (Wanganoo and Tripathi, 2023)، تاکید دارد که یک پلت‌فرم دیجیتالی شده و سیستم پشتیبانی تصمیم هوشمند مبتنی بر داده می‌تواند ارتباطات و اشتراک‌گذاری اطلاعات را بین ذینفعان مختلف در زمان واقعی بهبود بخشد، برنامه‌ریزی و استفاده بهتر از منابع را در عملیات لجستیک معکوس در تجارت الکترونیک ممکن می‌سازد و منجر به صرفه‌جویی در هزینه و بهبود پایداری می‌شود. گااو و همکاران (Gao et al., 2023) در مطالعه خود دست یافتند که استفاده از فناوری بلاک‌چین برای ساخت زنجیره‌تأمین معکوس باتری خودروی الکتریکی هوشمند می‌تواند مشکلات عدم اعتماد و داده را حل کند. کرستیک و همکاران (Krstić et al., 2022) نشان داد که کاربرد فن‌آوری‌های مختلف صنعت نسل چهارم در بخش لجستیک معکوس می‌تواند در عملکرد سریع، انعطاف‌پذیر، ایمن، اقتصادی، کارآمد و قابل قبول از نظر زیست‌محیطی در جریان حمل‌ونقل کالا مؤثر باشد. آن‌ها در این مطالعه بر نقش عوامل تکنولوژی، سیاسی–اجتماعی، و اقتصادی عملیاتی در توسعه لجستیک

معکوس تاکید کرده اند. شانگ و همکاران (Shang et al., 2022) در مطالعه نشان داد که فقدان دانش در مورد فن‌آوری‌های صنعت نسل چهارم و رویکردهای مدور اولین مانعی است که به دنبال آن مشکلات مرتبط با امنیت داده در مدیریت روابط در جریان‌های مدور، کمبود دانش در مورد مدیریت داده در بین ذینفعان و عدم آگاهی در مورد مزایای بالقوه سیستم‌های مستقل در فعالیت‌های «پایان عمر» مبتنی بر نیروی کار برای زنجیره‌تأمین در عصر انتقال صنعت نسل چهارم دارد. بر اساس مطالعات یاداو و سینگ (۲۰۲۰) عوامل ایمنی و تمرکززدایی داده‌ها، دسترسی، قوانین و خط‌مشی، اسناد، مدیریت داده‌ها و کیفیت عوامل حیاتی موفقیت بلاک‌چین برای زنجیره‌تأمین پایدار می-باشد (Yadav and Singh., 2020). مطالعه عیسی و همکاران (Issaoui et al., 2019) نشان داد که استفاده از بلاک‌چین دارای محدودیت‌های مختلف یعنی: تهیه استانداردهای استانداردسازی داده‌ها، برای ساده کردن مبادلات بین کانال‌های مختلف و تدوین قوانین نظارتی است و چشم‌اندازی برای بهبود در هنگام استفاده در زمینه لجستیک هوشمند وجود دارد. عبدالباسط و همکاران (Abdel-Basset et al., 2018) در تحقیق خود بر نقش ایمنی، قابل اعتماد بودن، خدمات، شبکه و حریم خصوصی در سیستم زنجیره‌تأمین هوشمند تاکید کرده‌اند. نتایج مطالعه گارسیا سانچز و همکاران (García-Sánchez et al., 2018) نشان داد مهارت‌های فناوری بر لجستیک معکوس در شرکت‌های با تکنولوژی بالا اثر مستقیم و مثبت دارند. همچنین، نتایج نشان داد که حمایت مدیریت از فناوری اطلاعات بر لجستیک معکوس تأثیرگذار است. مطالعه مورگان و همکاران (Morgan et al., 2016) نشان داده است که بنگاه‌ها، از طریق همکاری می‌توانند توانایی خود را برای مقابله با بازدهی بهبود بخشند و فناوری اطلاعات به عنوان تأثیر تعدیل کننده بر تأثیر همکاری در پیشرفت شایستگی لجستیک معکوس معرفی شده است. در این مطالعه بر شایستگی فناوری اطلاعات در رابطه بین همکاری و صلاحیت لجستیک معکوس تاکید شده است.

مطالعات همچون وانگانو و تریپاتی (Wanganoo and Tripathi, 2023)، گااو و همکاران (Gao et al., 2023)، کرستیک و همکاران (Krstić et al., 2022) و شانگ و همکاران (Shang et al., 2022) نقش بسیار مهم و پراهمیت فناوری های هوشمند در زنجیره‌تأمین معکوس را مطرح کرده اند و مشخص شده است که فناوری‌های هوشمند

می تواند در کل زنجیره‌تأمین لجستیک معکوس را بهبود ببخشد. اما یک شکاف تحقیقاتی کلیدی در حوزه ادغام فناوری‌های هوشمند با شیوه‌های لجستیک معکوس وجود دارد. در حالی که ادبیات کنونی توانمندسازها و چارچوب‌های مختلفی را برای تحول لجستیک معکوس هوشمند مورد بحث قرار می‌دهد، اما شواهد تجربی هنوز نتوانسته است یک مفهوم سازی سیستماتیک برای هدایت تغییر پارادایم آتی لجستیک معکوس به سمت هوشمندی در سناریوهای دنیای واقعی اجرا و اندازه‌گیری کند. سان و همکاران (Sun et al., 2022) نشان داده است که لجستیک معکوس هوشمند در مرحله برنامه ریزی اولیه قرار دارد و هنوز به چشم انداز جامع و یکپارچه فاصله دارد و نیاز به درک بهتری از یکپارچگی نوآوری فناوری های هوشمند در حل مسائل لجستیک معکوس است. بنابراین نوآوری این تحقیق توسعه مفهومی وارائه یک نقشه راه روشن برای تحول لجستیک معکوس هوشمند در صنایع با آلایندگی بالا است. برای کاهش این شکاف تحقیقاتی و نبود مدل مفهومی برای هوشمندی زنجیره‌تأمین معکوس، این پژوهش به طراحی مدل هوشمند استراتژیک زنجیره‌تأمین معکوس در صنایع لاستیک-سازی پرداخته است.

روش‌شناسی پژوهش

این تحقیق با هدف تعیین و شناسایی روابط بین ابعاد و معیارهای مدل استراتژیک زنجیره‌تأمین معکوس هوشمند در صنعت لاستیک‌سازی انجام شده است که از لحاظ هدف کاربردی-توسعه‌ای و ماهیت داده‌ها آمیخته (کیفی-کمّی) است. جامعه تحقیق در بخش کیفی خبرگان صنعت لاستیک‌سازی هستند. این خبرگان دارای ویژگی‌هایی همچون دارا بودن تخصص در حوزه تولید و زنجیره‌تأمین با فناوری‌های هوشمند، تجربه کاری بالای ۱۵ سال و آگاهی کامل به موضوع پژوهش بوده‌اند. خبرگان از طریق نمونه-گیری غیر احتمالی هدفمند و با تکنیک گلوله برفی به تعداد ۱۵ نفر انتخاب شده‌اند. در بخش کیفی مبنای نمونه‌گیری اشباع نظری بوده است.

برای طراحی مدل، محقق نیاز به شناسایی داده‌های کیفی دارد که بتوان به آن استناد کرد؛ و علاوه بر این، تجربیات، ادراکات و رفتار پدیده‌ها را شناسایی کند. این اطلاعات به‌منظور دستیابی به درک بهتر از موضوع مورد مطالعه استفاده می‌شود. از طرفی دیگر به منظور پشتیبانی خوب برای کشف ایده‌ها و روابط جدید بین دسته‌ها و ویژگی‌ها از

رویکرد تحلیل محتوا ترکیبی از اصل قیاسی و استقرائی استفاده شده‌است. بنابراین، در رویکرد کیفی، ابعاد، معیارها و شاخص‌های مدل به روش تحلیل محتوا با رویکرد ترکیبی از اصل قیاسی و استقرائی و با تکنیک کدگذاری شناسایی و استخراج شده‌اند. در بخش استقرائی، کدهای توصیفی استخراج شده از طریق مصاحبه نیمه ساختاریافته (استقرائی) با خبرگان به کدهای محوری و انتخابی تبدیل شده‌اند. در بخش قیاسی، از ادبیات نظری برای دسته‌بندی کدهای محوری بهره گرفته شده است. در بخش کیفی، روایی محتوایی شاخص‌ها با روش نسبت روایی محتوایی[1] (CVR) همراه با ضریب لاوشه ۰/۴۹ برای ۱۵ خبره مقایسه و همه شاخص‌ها تأیید شده‌اند. علاوه بر این، برای تأیید معیارها از روش دلفی فازی استفاده شده است. شرط لازم برای دلفی فازی میزان اختلاف بین راندها کمتر از ۰/۲ و شرط کافی میانگین امتیازات خبرگان بیشتر از ۸ در نظر گرفته شده است (Modiri et al., 2019).

پس از کدگذاری‌ها و دسته‌بندی متغیرهای مدل، برای تعیین روابط بین متغیرهای مدل از روش دیمتل فازی[2] استفاده شده است. این روش روابط علت‌ومعلولی و شبکه-ای از روابط متقابل را در یک مدل ساختاری نشان می‌دهد و وابستگی‌های متقابل بین متغیرها را نشان می‌دهد. اما همبستگی بین روابط را نشان نمی‌دهد. برای پر کردن این شکاف، از رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری حداقل مربعات جزئی برای تأیید مدل بیرونی و درونی و همبستگی استفاده شده است. اعتقاد بر این است که مدل‌های حداقل مربعات جزئی تخمین‌های دقیق‌تری نسبت به مدل‌های ساخته شده دارند. در واقع روش مدل‌سازی معادلات ساختاری برای پیش‌بینی و کاوش مدل‌های پیچیده «با انتظارات آرام از داده‌ها» استفاده می‌شود (Rahnamayiezekavat et al., 2022). بنابراین از ترکیب این دو روش به عنوان مبنایی برای توسعه مدل زنجیره‌تأمین معکوس هوشمند استراتژیک برای پیش‌بینی احتمال آینده استفاده شده است.

در روش دیماتل فازی، با استفاده پرسشنامه محقق ساخته برگرفته شده از بخش کیفی، به صورت مقایسات زوجی طراحی شده است که در آن خبرگان به میزان اثرگذاری هر یک از ابعاد و مولفه‌ها بر یکدیگر را به صورت «بدون تأثیر (۰)»، «تأثیر کم(۱)»، «تأثیر متوسط(۲)»، «تأثیر زیاد(۳)»، «تأثیر خیلی زیاد (۴)» مشخص کرده‌اند و

[1] Content Validity Ratio
[2] Fazzy Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL)

سپس بر اساس دیمتل فازی روابط بین آن‌ها مشخص و مدل طراحی شده است. پاسخ-دهندگان این بخش خبرگان بخش کیفی بوده‌اند که به تعداد ۱۵ نفر انتخاب شده‌اند.

در ادامه برای آزمون روابط از روش مدلسازی معادلات ساختاری استفاده شده است. جامعه آماری این بخش مدیران و کارشناسان ۱۵ شرکت لاستیک‌سازی به تعداد ۲۷۲ نفر می‌باشد که به دلیل تعداد کم جامعه، تمامی کارشناسان به عنوان نمونه آماری انتخاب شده‌اند. این کارشناسان به سوال‌های مطرح شده بر اساس طیف ۵ گزینه‌ای لیکرت پاسخ داده‌اند.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

یافته‌های تحقیق در دو بخش کیفی و کمی می‌باشد. در بخش کیفی، یافته‌های حاصل از مصاحبه نیمه ساختاریافته با خبرگان به روش تحلیل محتوا استقرائی و با تکنیک کدگذاری تحلیل شده است. علاوه بر این، با رویکرد تحلیل محتوا قیاسی، به مرور ادبیات نظری پرداخته شده است و با روش فراترکیب اقدام به شناسایی کدهای بیشتری شده است تا یافته‌های تحقیق گذشته بتوانند از قیاس‌های مطرح شده توسط خبرگان پشتیبانی کند و به اعتبار تحقیق بیافزاید. در این بخش، گزاره‌های کلامی خبرگان و فراترکیب به کدگذاری توصیفی تبدیل شده‌اند. سپس، گزاره‌هایی که از نظر معنای مشابه و سنخیت داشتند، در کدگذاری محوری تحت عنوان معیارها انتخاب شده‌اند و در نهایت معیارهای که همجنس بودند، در دسته های بزرگتر در کدگذاری انتخاب تحت عنوان ابعاد قرار گرفته‌اند و بر اساس تجارب خبرگان و همچنین مطالعه ادبیات نظری تحقیق نام‌گذاری شده‌اند. سپس مقادیر CVR برای شاخص‌ها بررسی شده است و ضرورت همه شاخص‌ها تأیید شده است. در ادامه، معیارها به روش دلفی فازی غربالگری شده‌اند. در این بخش خبرگان در خصوص معیارها به وحدت نظر رسیدند و اجماع صورت گرفت که در نتیجه آن همه معیارها تأیید شده‌اند. یافته‌های حاصل از بخش کیفی در جدول ۱ آمده است.

جدول (۱) ابعاد، معیارها و شاخص‌های استخراج‌شده به روش تحلیل محتوا ترکیبی و تکنیک کدگذاری

ابعاد	معیارها	امتیاز دلفی	شاخص‌ها
هوشمندی استراتژیک لجستیک معکوس	سرمایه‌گذاری فناوری‌های هوشمند (Rajput & Singh, 2021)	۸/۲۴	(هزینه اولیه و راه‌اندازی- هزینه‌های پشتیبانی و به‌روز رسانی)
	جهت‌گیری استراتژیک هوشمند (Wangano et al., 2021) (Singh et al., 2018) (Garrido-Hidalgo et al., 2019)	۸/۲۳	(تدوین برنامه زنجیره‌تأمین هوشمند معکوس-پشتیبانی مدیران برای استفاده از فناوری‌های هوشمند برای سبز- اصلاح قوانین برای کاربرد نوآوری‌های تکنولوژیکی- افزایش آگاهی از مدیریت هوشمند زنجیره‌تأمین معکوس و سبز--اهداف و برنامه‌های توسعه فناوری با شرکاء- وجود استانداردها و گواهی نامه‌ها)
	محیط کار هوشمند (Shang et al., 2022)	۸/۰۸	(مهارت‌های فناوری، اطلاعات و فنی-آموزش مجازی- جریان اطلاعات و آگاهی و دانش- پشتیبانی از راه‌دور از طریق فناوری‌ها مجازی-سلامت و ایمنی کارکنان)
	طراحی محصولات پایدار هوشمند	۸/۰۹	(طراحی محصولات هوشمند سازگار با محیط زیست- فرآیندهای هوشمند طراحی و دفع سبز)
	توسعه فناوری‌های پیشرفته برای بازیابی	۸/۸۵	(فناوری و تحقیق‌وتوسعه مربوط به بازیابی محصول/مواد- نوآوری‌های تکنولوژیکی برای تولید مجدد- فناوری‌های مربوط به جمع‌آوری داده‌ها)
زیرساخت‌ها و تکنولوژی زنجیره‌تأمین معکوس	تسهیلات و امکانات هوشمند (Pourmehdi et al., 2020)	۸/۱۹	(زیرساخت صنعتی برای عملیات معکوس از نظر جابجایی تجهیزات، ذخیره‌سازی و وسایل نقلیه هوشمند- تعداد و مکان تاسیسات- انبارهای هوشمند- بسترها استقرار تجهیزات فناوری‌های پیشرفته)
	زیرساخت شبکه‌ی دیجیتال (Wanganoo & Tripathi, 2023)	۸/۳۲	(ارتباط و همکاری با پلت‌فرم خدمات برنامه‌های کاربردی- سیستم‌های داده الکترونیکی- پلتفرم‌های حراج آنلاین برای فرآیند فروش کالاهای برگشتی- اینترنت پر سرعت)
سیستم	عملیات هوشمند	۸/۹۳	(کنترل و نظارت بر عملکرد تجهیزات و محصولات از

ابعاد	معیارها	امتیاز دلفی	شاخص‌ها
لجستیک معکوس هوشمند	زنجیره‌تأمین معکوس (خبرگان)		طریق شبکه هوشمند- برنامه‌ریزی و کنترل هوشمند کلیه فرآیندها- مدیریت موجودی هوشمند- قرارداد هوشمند مبتنی بر بلاک‌چین- خودکارسازی نظارت و مجوز)
	مدیریت هوشمند لجستیک معکوس (خبرگان)	۸/۳۲	(طراحی برای جداسازی قطعات- استانداردسازی طرح های محصول و قطعات- برچسب‌گذاری هوشمند برای عملیات ردیابی- جمع‌آوری هوشمند محصولات پایان عمر و ضایعات- پردازش سریع و ردیابی برگشتی‌ها)
	طراحی شبکه هوشمند لجستیک معکوس (خبرگان)	۸/۰۲	(برنامه‌ریزی ظرفیت و طراحی سیستم‌های بازسازی/بازیافت- حمل‌ونقل قابل اعتماد- شفاف‌تر و ایمن‌تر کردن لجستیک معکوس)
	لجستیک هوشمند سبز (Wanganoo & Tripathi, 2023)	۸/۰۹	(استراتژی حمل‌ونقل هوشمند- حمل‌ونقل هوشمند سبز- خرید سبز بر اساس پلتفرم دیجیتال- تحویل هوشمند سبز به مشتری)
	یکپارچگی فناوری با شرکاء	۸/۰۱	(استانداردهای مشترک سیستم‌های فناوری- سازگاری پلتفرم ها در زنجیره‌تأمین-پشتیبانی‌ها از فناوری اطلاعات- بهبود اتصال با شرکاء از طریق پلتفرم‌های دیجیتال- ادغام با پلتفرم‌های خرید سیستم عامل‌های شخص ثالث)
همکاری استراتژیک با شرکای زنجیره‌تأمین معکوس	هماهنگی و همکاری با شرکاء (Morgan et al., 2016) (Issaoui et al., 2019)	۸/۰۹	(اشتراک‌گذاری داده‌ها-به‌اشتراک گذاشتن اطلاعات استاندارد و سفارشات با شرکای زنجیره‌تأمین شامل مشتریان، شخص ثالث و خرده فروشان به‌منظور جلوگیری از برگشت‌های غیر ضروری / مدیریت دانش مشارکتی-یکپارچگی و انعطاف‌پذیری عملیات با شرکاء از طریق روابط زنجیره‌تأمین- همکاری و تصمیم‌گیری مشترک با شرکاء-همکاری بیشتر با خرده فروشان برای بازگشت محصولات-ایجاد کانال‌های ارتباطی در کل طول عمر محصول با شرکاء)
	برنامه‌ریزی مشارکتی با شرکاء (Dev et al., 2020)	۸/۲۴	(برنامه‌ریزی و پیش‌بینی‌های تقاضا و برگشتی‌ها- توسعه کانال‌های هوشمند با اعضای شرکاء- اجرای شیوه‌های سبز هوشمند برای برگشتی‌ها میان اعضاء-کاهش هزینه-

ابعاد	معیارها	امتیاز دلفی	شاخص‌ها
یکپارچگی در سیستم اطلاعاتی زنجیره‌تأمین معکوس	یکپارچه‌سازی اطلاعات (Wanganoo & Tripathi, 2023)	۸/۵۶	ها برای شرکاء) (پشتیبانی از تصمیم در خصوص برگشتی‌ها- به‌موقع بودن تحویل اطلاعات- سیستم‌های اطلاعاتی ساده برای پاسخگویی به درخواست‌های خدمات و سفارشات از سوی مشتریان- شفافیت در اطلاعات)
	ذخیره و مدیریت داده‌ها (Yadav & Singh, 2020)	۸/۳۸	(جمع‌آوری داده‌های در طول تولید- اطلاعات محصول در تمام طول عمر- جمع‌آوری اطلاعات مربوط به مشتریان-تجزیه‌وتحلیل داده‌ها- اطلاعات جداسازی قطعات اختصاصی برای استفاده مجدد- کیفیت داده‌ها)
	ارتباط سازمانی (Shang et al., 2022)	۸/۲۵	(به‌اشتراک‌گذاری هزینه و سود- به‌اشتراک‌گذاری مهارت‌ها، ایده‌ها و فرهنگ سازمانی- به‌اشتراک‌گذاری و یکپارچه‌سازی دانش در سازمان- پاسخ‌گویی از طریق یکپارچه‌سازی آسان داده‌ها- ارتباط سریع تر با مشتریان)

در بخش کمی، پرسش‌نامه مقایسات زوجی ۵×۵ برای تعیین شدت اثرات ابعاد بر یکدیگر و پرسش‌نامه ۱۷×۱۷ برای سنجش میزان تاثیر معیارها بر یکدیگر طراحی شد و داده‌های ۱۵ خبره با تجربه برای صنعت لاستیک‌سازی جمع‌آوری شد. برای قضاوت‌های ذهنی متخصص که دارای ابهامات در یک موقعیت واقعی است، نظریه مجموعه‌های فازی برای کنترل مبهم بودن و عدم دقت در تصمیم‌گیری استفاده شد. سپس نظرات خبرگان تجمیع شد و ماتریس تأثیر اولیه تشکیل شد که در جدول ۲ آمده است. سپس ماتریس تأثیر اولیه برای ارائه ماتریس تأثیر مستقیم، نرمال شد.

جدول (۲) ماتریس مستقیم فازی ابعاد اثرگذار مدیریت زنجیره‌تأمین معکوس هوشمند

	C1			C2			C…		C5	
	L	M	U	L	M	U	…	L	M	U
C1	۰	۰	۰	۰/۵	۰/۷۵	۰/۹۲۹	…	۰/۲۵	۰/۵	۰/۷۵
C2	۰/۳۲۱	۰/۵۷۱	۰/۸۲۱	۰	۰	۰	…	۰/۴۶۴	۰/۷۱۴	۰/۸۹۳
C3	۰/۲۱۴	۰/۴۶۴	۰/۷۱۴	۰/۳۹۳	۰/۶۴۳	۰/۸۹۳	…	۰/۴۲۹	۰/۶۷۹	۰/۸۵۷

C4	۰/۳۲۱	۰/۵۷۱	۰/۸۲۱	۰/۲۱۴	۰/۴۶۴	۰/۷۱۴	...	۰/۳۹۳	۰/۶۴۳	۰/۸۹۳
C5	۰/۲۸۶	۰/۵	۰/۷۵	۰/۳۹۳	۰/۶۴۳	۰/۸۵۷	...	۰	۰	۰

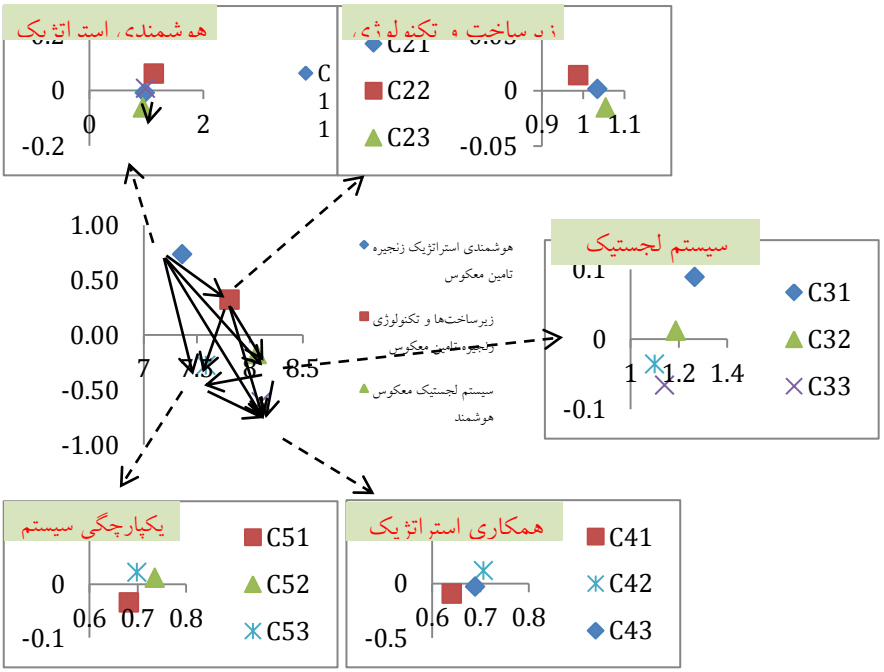
ماتریس روابط تأثیر کل برای محاسبه نقشهٔ شبکه روابط مستقیم تشکیل شد. شدت اثرات خالص درجه علیت را در بین معیارها نشان می‌دهد. اگر شدت اثرات خالص مثبت باشد، آن معیار علت است (یعنی بر معیارهای دیگر تأثیر می‌گذارد)، در حالی که اگر شدت اثرات خالص منفی باشد، آن معیار تأثیرپذیر است، یعنی تحت تأثیر معیارهای دیگر است. نتایج در جدول ۳ و شکل ۱ ارائه شده است.

جدول (۳) مجموع تأثیر علت‌ومعلول بر ابعاد و معیارهای مدیریت زنجیره‌تأمین معکوس هوشمند

ابعاد/معیارها	کد	اثرگذار	اثرپذیر	کل	خالص	نتیجه
هوشمندی استراتژیک	C1	۴/۰۵	۰۳/۳۱۵	۷/۳۶۵	۰/۷۳۵	اثرگذارترین
محیط‌کار هوشمند	C11	۰/۴۸۴	۰/۴۹۲	۰/۹۷۶	−۰/۰۰۸	اثرپذیر
جهت‌گیری استراتژیک هوشمند	C12	۰/۵۹۷	۰/۵۳۶	۱/۱۳۳	۰/۰۶۱	اثرگذار
طراحی محصولات پایدار هوشمند	C13	۰/۴۴۱	۰/۵۰۲	۰/۹۴۴	−۰/۰۶۱	اثرپذیر
سرمایه‌گذاری فناوری‌های هوشمند	C14	۰/۴۹۶	۰/۴۸۸	۰/۹۸۳	۰/۰۰۸	اثرگذار
زیرساخت‌ها و تکنولوژی	C2	۴/۰۶۵	۳/۷۴۴	۷/۸۱	۰/۳۲۱	اثرگذار
توسعه فناوری‌های پیشرفته بازیابی	C21	۰/۵۱۸	۰/۵۱۷	۱/۰۳۵	۰/۰۰۲	اثرگذار
تسهیلات و امکانات هوشمند	C22	۰/۵۰۱	۰/۴۸۷	۰/۹۸۸	۰/۰۱۴	اثرگذار
زیرساخت‌های شبکه‌های دیجیتال	C23	۰/۵۲	۰/۵۳۵	۱/۰۵۴	−۰/۰۱۵	اثرپذیر
سیستم لجستیک معکوس هوشمند	C3	۰/۹۴۷	۴/۱۱۹	۸/۰۶۶	−۰/۱۷	اثرپذیر
هوشمندی عملیات زنجیره‌تأمین	C31	۰/۶۷۷	۰/۵۸۸	۱/۲۶۵	۰/۰۸۹	اثرگذار
طراحی شبکه هوشمند لجستیک	C32	۰/۶	۰/۵۸۸	۱/۱۸۷	۰/۰۱۲	اثرگذار
لجستیک هوشمند سبز	C33	۰/۵۳۸	۰/۶۰۳	۱/۱۴۱	−۰/۰۶۵	اثرپذیر
مدیریت هوشمند لجستیک معکوس	C34	۰/۵۳۲	۰/۵۶۸	۱/۱	−۰/۰۳۶	اثرپذیر
همکاری استراتژیک با شرکاء	C4	۳/۷۵	۴/۳۵۹	۸/۱۰۸	۰/۶۱	اثرپذیرترین
هماهنگی و همکاری با شرکاء	C41	۰/۲۷۴	۰/۳۶۷	۰/۶۴۱	−۰/۰۹۳	اثرپذیر

یکپارچگی فناوری با شرکاء	C42	۰/۴۱۳	۰/۲۹۳	۰/۷۰۶	۰/۱۲	اثرگذار
برنامه‌ریزی مشارکتی با شرکاء	C43	۰/۳۳۱	۰/۳۵۸	۰/۶۸۹	-۰/۰۲۷	اثرپذیر
یکپارچگی اطلاعات	C5	۳/۶۵۶	۹۳۱۳	۷/۵۸۸	-۰/۲۷	اثرپذیر
ارتباط سازمانی	C51	۰/۳۲۴	۰/۳۵۸	۰/۶۸۲	-۰/۰۳۴	اثرپذیر
یکپارچه‌سازی اطلاعات	C52	۰/۳۷۴	۰/۳۶۲	۰/۷۳۵	۰/۰۱۲	اثرگذار
ذخیره و مدیریت داده‌ها	C53	۰/۳۶	۰/۳۳۸	۰/۶۹۹	۰/۰۲۲	اثرگذار

نقشهٔ شبکهٔ روابط مستقیم درک رابطهٔ متقابل وابسته بین ابعاد و معیارها را در مدل امکان‌پذیر می‌کند. در نقشهٔ شبکهٔ روابط تأثیرگذار از پنج بعد نشان می‌دهد که بعد «هوشمندی استراتژیک» رابطهٔ قوی و تأثیرگذاری با ابعاد دیگر دارد. بعد «زیرساخت‌ها و تکنولوژی» تأثیر قابل توجهی بر ابعاد «سیستم لجستیک معکوس هوشمند»، «یکپارچگی اطلاعات» و «همکاری استراتژیک با شرکای زنجیره‌تأمین معکوس» دارد. بنابراین، این مطالعه نشان داد که «هوشمندی استراتژیک» حیاتی‌ترین بعد در مدیریت زنجیره‌تأمین معکوس هوشمند می‌باشد. ابعاد دیگر در زیر محور افقی نشان می‌دهند که ابعاد اثرپذیر هستند.



شکل (۱) نمودار علی‌ومعلولی و نقشهٔ شبکهٔ روابط بین ابعاد و معیارها

تجزیه‌وتحلیل روابط بین معیارها نشان داد که «جهت‌گیری استراتژیک هوشمند»، «تسهیلات و امکانات هوشمند»، «عملیات هوشمند زنجیره‌تأمین معکوس»، «هماهنگی و همکاری با شرکاء»، و «ذخیره و مدیریت داده‌ها» بیشترین تأثیر را در ابعاد مربوط به خود دارند. این پنج معیار هسته اصلی توسعه بعد خود هستند و تأثیر زیادی بر مدیریت زنجیره‌تأمین معکوس هوشمند و ایجاد معیارها در بعد خود دارند.

در بین معیارهای «هوشمندی استراتژیک»، بیشترین مقدار اثرگذاری مربوط به معیار «جهت‌گیری استراتژیک هوشمند» است که تاثیرگذارترین معیار است و برای تصمیم-گیری بهبود هوشمندی استراتژیک زنجیره‌تأمین معکوس در اولویت قرار می‌گیرد. تاثیرپذیرترین معیار «طراحی محصولات پایدار هوشمند» است که بیشترین تاثیر را می-پذیرد و مدیریت استراتژیک زنجیره‌تأمین معکوس هوشمند باید برای بهبود این معیار باشد. این نتیجه نشان می‌دهد که مدیران باید طراحی محصولات پایدار هوشمند را از طریق جهت‌گیری استراتژیک هوشمند بهبود دهند. معیار «تسهیلات و امکانات هوشمند» در بعد «زیرساخت‌ها و تکنولوژی» بیشترین اثرگذاری را دارد و معیار «زیرساخت‌های شبکه‌های دیجیتال» بیشترین اثرپذیری را دارد. بنابراین، با استفاده از تسهیلات و امکانات هوشمند می‌توان زیرساخت‌های شبکه‌های دیجیتال را بهبود داد.

در ادامه برای آزمون روابط مشخص شده بر اساس روش دیمتل فازی در شکل ۱، از مدلسازی معادلات ساختاری و حداقل مربعات جزئی استفاده کرده‌ایم. بدین منظور، داده‌های شاخص‌های مطرح شده در جدول ۱ را بر اساس طیف ۵ گزینه‌ای لیکرت از تعداد ۲۷۲ نفر کارکنان صنعت لاستیک‌سازی تهیه و جمع‌آوری شد و سپس داده‌ها در نرم‌افزار اسمارت پی‌ال‌اس اجرا گردید. ما مدل رو در دو جنبهٔ مدل اندازه‌گیری و مدل ساختاری ارزیابی کردیم. جدول ۴ نتایج مربوط به مدل اندازه‌گیری شامل شاخص‌های بار عاملی، میانگین واریانس استخراج شده، روایی همگرا و واگرا و قابلیت اطمینان را نشان می‌دهد.

جدول (۴) مقادیر پایایی و روایی واگرا سازه مدل اندازه‌گیری

سازه	شاخص‌ها	بار عاملی	میانگین واریانس	آلفای کرونباخ	پایایی ترکیبی
هوشمندی	محیط‌کار هوشمند	۰/۸۳۵			

استراتژیک	جهت‌گیری استراتژیک هوشمند	۰/۹۲۸			
	طراحی محصولات پایدار هوشمند	۰/۹۲۸	۰/۷۹۷	۰/۹۱۵	۰/۹۴۰
	سرمایه‌گذاری فناور های هوشمند	۰/۸۷۸			
زیرساخت‌ها و	توسعه فناوری‌های پیشرفته برای بازیابی	۰/۹۷۷			
تکنولوژی	تسهیلات و امکانات هوشمند	۰/۹۶	۰/۹۲۲	۰/۹۵۸	۰/۹۷۳
	زیرساخت‌های شبکه‌های دیجیتال	۰/۹۴۲			
سیستم	هوشمندی عملیات زنجیره‌تأمین معکوس	۰/۹۳۴			
لجستیک	طراحی شبکه هوشمند لجستیک معکوس	۰/۹۷۲	۰/۹۰۳	۰/۹۶۴	۰/۹۴۷
معکوس	لجستیک هوشمند سبز	۰/۹۲۸			
	مدیریت هوشمند لجستیک معکوس	۰/۹۶۶			
همکاری	هماهنگی و همکاری با شرکاء	۰/۹۰۰			
استراتژیک با	یکپارچگی فناوری با شرکاء	۰/۹۶۹	۰/۸۸۸	۰/۹۳۶	۰/۹۶۰
شرکا	برنامه‌ریزی مشارکتی با شرکاء	۰/۹۵۶			
یکپارچگی	ارتباط سازمانی	۰/۹۰۵	۰/۶۵۴	۰/۷۲۲	۰/۸۴۸
اطلاعات	یکپارچه‌سازی اطلاعات	۰/۸۵۲			
	ذخیره و مدیریت داده‌ها	۰/۶۴۶			

همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است، میانگین واریانس استخراج شده همه سازه‌ها بالاتر از ۰/۵ بودند که روایی واگرا را تأیید می‌کند. بارعاملی شاخص‌ها بیشتر از ۰/۶ می‌باشد که طبق هایر و همکاران (Hair et al., 2021) مورد تأیید است و این نشان می‌دهد که شاخص‌ها توانسته‌اند از سازه‌ها به خوبی پشتیبانی کنند. آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی بیشتر از ۰/۷ می‌باشد و طبق هایر و همکاران (Hair et al., 2021) تأیید می‌باشد و نشان دهندۀ توافق شاخص‌ها برای ساخت سازه‌ها است. در مجموع، مقادیر پایایی و روایی واگرا این مدل نشان دهندۀ تأیید مدل اندازه‌گیری است. شکل ۲ ضرایب مسیر این بررسی تجربی را نشان می‌دهد.

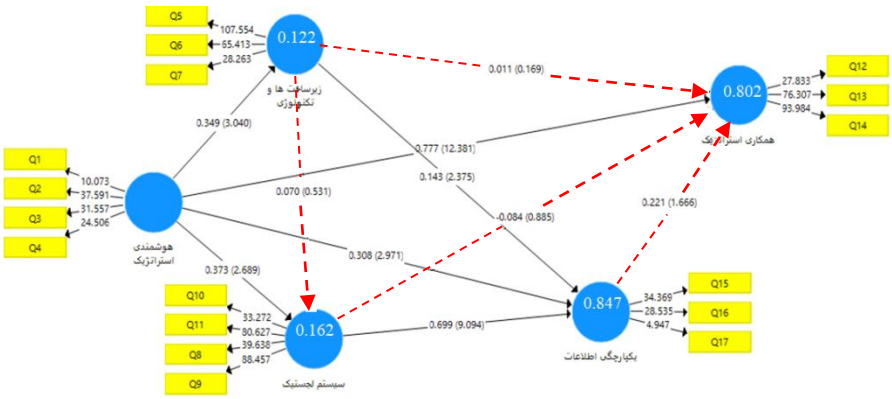
جدول ۵ نیز همبستگی بین متغیرها و روایی واگرا را نشان می‌دهد که که همبستگی سازه‌ها از طریق معیار فورنل و لاکر (۱۹۸۱) بررسی شده است و گزارش جدول ۵ نشان می‌دهد که ریشه‌های مربع میانگین واریانس استخراج شده (به صورت پررنگ) بالاتر از

سایر مقادیر همبستگی (در همان ستون‌ها) است و روایی واگرا طبق هایر و همکاران (Hair et al., 2021) مدل تأیید می‌شود.

جدول (۵) ضرایب همبستگی و روایی واگرا مدل

سازه ها	۱	۲	۳	۴	۲
زیرساخت‌ها و تکنولوژی	**۰/۹۶۰**				
سیستم لجستیک	۰/۲۰۰	**۰/۹۵۰**			
همکاری استراتژیک	۰/۳۵۱	۰/۴۱۵	**۰/۹۴۲**		
هوشمندی استراتژیک	۰/۳۴۹	۰/۳۹۷	۰/۸۸۸	**۰/۸۹۳**	
یکپارچگی اطلاعات	۰/۳۹۰	۰/۸۵۱	۰/۶۴۸	۰/۶۳۶	**۰/۸۰۹**

الگوریتم اسمارت پی‌ال‌اس همچنین جزئیاتی در مورد اعتبار مدل ساختاری ارائه کرده است. در این خصوص مقادیر R^2 به‌وضوح قدرت پیش‌بینی متیغرها را نشان داده است. شکل ۲ نشان می‌دهد که ساختارهای مستقل بر ۸۰/۲ درصد از همکاری استراتژیک و ۸۴/۷ درصد از یکپارچگی اطلاعات در هوشمندسازی لجستیک معکوس تأثیر گذاشته است. سایر اثرات قابل توجه بین متغیرهای مستقل و سیستم لجستیک معکوس (R^2=۰/۱۶۲) و زیرساخت‌ها و تکنولوژی (R^2=۰/۱۲۲) گزارش شده است که تأثیرات کمتری وجود داشت. مطالعات هایر و همکاران (Hair et al., 2021) پیشنهاد کردند که مقادیر ضرایب تعیین بین ۰/۱۳ و ۰/۲۵ متوسط و مساوی یا بیشتر از ۰/۲۶ قابل توجه است.



شکل (۲) تصویری از نتایج الگوریتم مدلسازی معادلات ساختاری

برای بررسی آزمون روابط بین متغیرهای این پژوهش از روش بوت‌استرپینگ[1] استفاده شد. مقادیر t و بتا استاندارد (β) را محاسبه می‌کند. روابط فرضی بین متغیرها بر اساس روش دیماتل فازی با نتایج تجزیه‌وتحلیل مدلسازی معادلات ساختاری مشخص شد، همان‌طور که در جدول ۶ همراه با شکل ۲ نشان داده شده است. آزمون با فرض سطح معنی داری ۵ درصد و مقدار t برابر یا بیشتر از ۱/۶۹ ارزیابی شده است. یافته‌ها استحکام مدل ساخت‌یافته پیشنهادی را تأیید کرد. آن‌ها اثرات بسیار قابل توجهی را بین سازه‌های برون‌زا و درون‌زا گزارش کردند.

جدول (٦) نتایج ارزیابی مدل ساختاری

رابطه	روابط متغیرهای مدل	β	آماره T	نتیجه
۱	هوشمندی استراتژیک > زیرساخت‌ها و تکنولوژی	۰/۳۴۹	۳/۰۴۰	تأیید
۲	هوشمندی استراتژیک > سیستم لجستیک	۰/۳۷۳	۲/۶۸۹	تأیید
۳	هوشمندی استراتژیک > یکپارچگی اطلاعات	۰/۳۰۸	۲/۹۷۱	تأیید
۴	هوشمندی استراتژیک > همکاری استراتژیک	۰/۷۷۷	۱۲/۳۸۱	تأیید
۵	زیرساخت‌ها و تکنولوژی > سیستم لجستیک	۰/۰۷۰	۰/۵۳۱	رد
۶	زیرساخت‌ها و تکنولوژی > یکپارچگی اطلاعات	۰/۱۴۳	۲/۳۷۵	تأیید
۷	زیرساخت‌ها و تکنولوژی > همکاری استراتژیک	۰/۰۱۱	۰/۱۶۹	رد
۸	سیستم لجستیک > یکپارچگی اطلاعات	۰/۶۹۹	۹/۰۹۴	تأیید
۹	سیستم لجستیک > همکاری استراتژیک	-۰/۰۸۴	۰/۸۸۵	رد
۱۰	یکپارچگی اطلاعات > همکاری استراتژیک	۰/۲۲۱	۱/۶۶۶	رد

یافته‌های ثبت شده در جدول ۶ و شکل ۳ نشان داد که از بین ۱۰ رابطه، ۶ رابطه به دلیل $t>1/96$ و $p<0/05$ تایید شده است. با کمال تعجب، یافته‌ها نشان داد که فقط هوشمندی استراتژیک بر همکاری استراتژیک تأثیر مثبت می‌گذارد و سایر متغیرها اثرگذار نیستند که نشان از ضعف سازمان در خصوص همکاری استراتژیک با ذینفعان می‌باشد.

[1] Bootstrapping

بحث و نتیجه‌گیری

پیشرفت‌های اخیر دیجیتالی شدن و فناوری اطلاعات و ارتباطات، نه تنها پارادایم کسب‌وکار را به سمت انقلاب صنعتی چهارم تغییر داده است، بلکه فرصت‌هایی را برای تحول لجستیک معکوس و هوشمند فراهم کرده است. سهم این تحقیق، از طریق توسعه مفهومی، در ارائه یک نقشهٔ راه روشن برای تحول استراتژیک لجستیک معکوس هوشمند است. از طرفی دیگر، همان‌گونه که می‌دانیم صنعت لاستیک‌سازی به دلیل استفاده از مواد نفتی و شیمیایی در محیط زیست برای تجزیه بسیار مقاوم است و هم‌چنان در محیط انباشه می‌شود، در حالی که این مواد بازیافت شود ارزش افزوده بسیاری برای سازمان‌ها ایجاد خواهد کرد و به سلامت محیط‌زیست کمک می‌شود. هدف این مطالعه، طراحی مدل استراتژیک زنجیره‌تأمین معکوس هوشمند در صنعت لاستیک‌سازی انجام شده است. برای دستیابی به این هدف، شاخص‌ها و متغیرهای مدل با روش تحلیل محتوا ترکیبی از رویکرد قیاسی و استقرائی شناسایی و استخراج شدند. سپس برای تعیین روابط و طراحی مدل از روش دیماتل فازی و مبتنی بر نظرات خبرگان صورت گرفت و در نهایت روابط تعریف شده با روش مدلسازی معادلات ساختاری آزمون شد.

یافته‌های بخش کیفی مطالعه نشان داده است که مدل دارای ۵ متغیر می‌باشد. اولین متغیر، «هوشمندی استراتژیک» می‌باشد که اشاره به دیدگاه استراتژیک مدیران به هوشمندسازی لجستیک معکوس به‌واسطه فناوری‌های پیشرفته دارد. در این بخش جهت‌گیری‌های استراتژیک در خصوص سرمایه‌گذاری‌ها و ساختار پایدار سازمان مشخص شود. آکدوگان و دمیرتاش (Akdogan and Demirtas, 2014) نشان داده است که داشتن نقشهٔ راه استراتژیک برای هوشمندسازی زنجیره‌تأمین می‌تواند در نهایت بر موفقیت شرکت‌ها تاثیر گذار باشد. طبق راجپوت و سینگ (Rajput and Singh, 2021)، داشتن برنامه‌های استراتژیک سرمایه‌گذاری برای پیاده‌سازی فناوری‌های هوشمند ضروری است.

متغیر دیگر «زیرساخت‌ها و تکنولوژی» است که در بر گیرنده تسهیلات و امکانات همراه با زیرساخت‌های شبکه‌های دیجیتال است. در این خصوص، پورمهدی و همکاران (Pourmehdi et al., 2020) تاکید می‌کند که زیرساخت‌های مبتنی بر حسگر و کلان داده‌ها می‌توانند کارایی ردیابی محصول، پیش‌بینی تقاضا و پاسخگویی لجستیک معکوس

ها را بیشتر افزایش دهند. از این رو، شرکت‌ها به دنبال بهبود زیرساخت های خود جهت پیاده‌سازی صنعت نسل چهارم هستند. متغیر سوم «سیستم لجستیک» است که به طراحی و مدیریت شبکهٔ لجستیک هوشمند اشاره دارد که مشخص کننده تمامی فرآیندهای لجستیک معکوس هوشمند می‌باشد. سان و همکاران (Sun et al., 2022)، اشاره می‌کند که اتخاذ فناوری‌های صنعت نسل چهارم در کارایی و طراحی لجستیک معکوس مؤثر است.

متغیر بعدی «همکاری استراتژیک با شرکاء» می‌باشد. این متغیر تأکید دارد که بین اعضاء ذینفعان لجستیک معکوس باید هماهنگی و همکاری متقابل وجود داشته باشد تا برنامه‌ریزی مشارکتی به اجرا درآید. دوو و همکاران (Dev et al., 2020) تأکید دارند که صنعت نسل چهارم از به‌اشتراک‌گذاری اطلاعات امن در لجستیک معکوس پشتیبانی می‌کند. علاوه بر این، طبق عیسی و همکاران (Issaoui et al., 2019)، فناوری‌های هوشمند بر اشتراک داده‌های شبکهٔ بین شرکت‌کنندگان زنجیره‌تأمین معکوس و بر همکاری و برنامه‌ریزی مشارکتی تأثیر می‌گذارد.

در نهایت آخرین متغیر، «یکپارچگی اطلاعات» می‌باشد. هوشمندی لجستیک معکوس به ارتباطات سازمانی مناسب برای مدیریت و ذخیره‌سازی داده‌ها و یکپارچه-سازی اطلاعات نیازمند است تا بتواند اطلاعات را در سراسر لجستیک معکوس جاری کند. گاریدو–هیدالگو و همکاران (Garrido-Hidalgo et al., 2019) عنوان کرده است که فناوری‌های هوشمند می‌توانند به عنوان ابزاری برای تسهیل مدیریت اطلاعات در عملیات بازیابی محصول پس از عمر در نظر گرفت. طبق عیسی و همکاران (Issaoui et al., 2019)، فناوری‌های هوشمند، جریان‌های اطلاعات در لجستیک معکوس را فراهم می‌کند.

در نتایج دیماتل فازی، متغیرهای «هوشمندی استراتژیک»، «زیرساخت ها و تکنولوژی»، «سیستم لجستیک» و «یکپارچگی اطلاعات» بر «همکاری استراتژیک با شرکاء» به ترتیب تأثیرگذار هستند. بنابراین برای بهبود سیستم لجستیک معکوس هوشمند باید به ترتیب اثرگذاری آن‌ها توجه کرد.

سپس رابطه‌ها و تأثیرات دیماتل فازی با مدلسازی معادلات ساختاری آزمون شد. برخی از روابط تأیید و برخی رد شد. یافته‌ها نشان داد که تنها متغیر «هوشمندی

استراتژیک» بر اساس نظرات کارکنان بر «همکاری استراتژیک با شرکاء» تأثیر مثبت و معنی‌دار دارد و سایر متغیرها بی‌تأثیر بودند. این یافته نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی استراتژیک هوشمند لاستیک‌سازی توانسته است همکاری استراتژیک شرکاء را تحت تأثیر قرار دهد. در این رابطه، وانگانو و همکاران (Wangano et al., 2021) مطرح کرده است که برنامه‌های استراتژیک بکارگیری فناوری‌های هوشمند موجب افزایش قابلیت همکاری و اعتماد در شبکه‌های لجستیک معکوس و توانمندسازی شرکت‌ها برای مقابله با رقابت شدید در بازار را افزایش می‌دهد.

همچنین، نتایج مدلسازی معادلات ساختاری نشان داده است که متغیر «یکپارچگی سیستم‌های اطلاعات» از سه متغیر دیگر یعنی «هوشمندی استراتژیک»، «زیرساخت‌ها و تکنولوژی»، «سیستم لجستیک» تأثیر مثبت می‌پذیرد. فعالیت‌های سیستم لجستیک مانند جمع‌آوری، مرتب‌سازی، بازرسی، جداسازی قطعات به صورت هوشمند می‌تواند بر کارآیی، ایمنی، به‌موقع بودن اطلاعات مورد نیاز لجستیک معکوس مؤثر باشد. مطالعهٔ (Garrido-Hidalgo et al., 2019) از این رابطه پشتیبانی می‌کند و آن‌ها مطرح کرده‌اند که فناوری‌های هوشمند مانند اینترنت اشیاء می‌تواند اطلاعات را دریافت و بر پلت‌فرم نظارت بر موجودی ارسال کند و ذینفعان می‌توانند از این راه‌حل برای دستیابی به مدیریت بهتر منابع بر اساس اطلاعات موجودی در زمان واقعی از طریق یک زیرساخت کم هزینه و مشارکتی بهره‌مند شوند. در خصوص پشتیبانی مطالعات از رابطهٔ «سیستم لجستیک» و «یکپارچگی سیستم‌های اطلاعات»، بورگی و همکاران (Borgi et al., 2017) گفته‌اند که داده‌ها در مورد مکان‌ها، ساختار کالاها و مواد، اندازه‌های تحویل، نقاط شروع و پایان و غیره توسط فناوری‌های هوشمند ردیابی، ثبت و ذخیره می‌شوند و سپس با استفاده از آن‌ها پردازش و تجزیه‌وتحلیل می‌شوند تا اطلاعات عملیاتی را در قالب آستانه در اختیار تصمیم گیرندگان قرار دهند.

همچنین متغیر «هوشمندی استراتژیک» بر دو متغیر «زیرساخت‌ها و تکنولوژی» و «سیستم لجستیک» تأثیر مثبت می‌گذارد. طبق این یافته، استراتژی‌های لجستیک معکوس هوشمند شامل اهداف و برنامه‌های محصولات سبز می‌تواند از پیاده‌سازی‌های زیرساخت‌ها و همچنین طراحی سیستم لجستیک معکوس حمایت کند و منابع را برای ایجاد آن‌ها اختصاص دهد. کرستیچ و همکاران (Krstić et al., 2022) نشان داده است

که تصمیمات استراتژیک می‌تواند تصمیمات عملیاتی و تاکتیکی مانند از جمله طراحی شبکه و سایر امکانات در داخل شبکه را ارئه دهد.

یافته‌های ترکیبی دو روش دیماتل فازی و مدلسازی معادلات ساختاری نشان داده است که متغیر «هوشمندی استراتژیک لجستیک معکوس» تاثیرگذارترین در هوشمندسازی لجستیک معکوس صنعت لاستیک‌سازی می باشد. بنابراین مدیران باید این متغیر را اولویت تصمیم‌گیری خود برای بهبود سیستم مدنظر قرار دهند. برای بهبود این متغیر، داشتن جهت‌گیری استراتژیک برای پیاده‌سازی لجستیک هوشمند می‌تواند کمک کننده باشد. مدیران در ابتدا می‌توانند برنامه‌ریزی دقیق برای اصلاح قوانین در بکارگیری نوآوری‌های تکنولوژیکی در لجستیک معکوس صنعت لاستیک‌سازی از جمع‌آوری تا بازیافت و طراحی مجدد محصول در نظر بگیرند. در این برنامه‌ریزی باید اهداف و برنامه‌های توسعه فناوری با شرکاء، استانداردها و گواهی نامه‌ها، حمایت‌های مالی و سرمایه گذاری‌ها، مهارت‌های فنی و آموزشی کارکنان، سلامت و ایمنی کارکنان را مشخص کنند. علاوه بر این، مدیران همچنین سطح تصمیمات استراتژیک برای طراحی محصولات پایدار هوشمند سازگار با محیط‌زیست و فرآیندهای هوشمند دفع سبز را اتخاذ کنند. امروزه، با توجه به افزایش تردد خودرو و مصرف زیاد لاستیک، زباله-های لاستیک روز به روز در حال افزایش است و برای استفاده مجدد آن ها نیاز به حمایت مدیران در طراحی محصولات از ضایعات لاستیک می‌باشد تا بتوان از آن‌ها استفاده مجدد کرد.

متغیر دومی که اثرگذار می‌باشد، شامل «زیرساخت‌ها و تکنولوژی» می‌باشد. پیشنهاد می‌شود تا مدیران در وهله اول تسهیلات و امکانات هوشمند مانند زیرساخت صنعتی برای عملیات معکوس از نظر جابجایی تجهیزات، ذخیره‌سازی و وسایل نقلیه هوشمند، تعداد و مکان تاسیسات، انبارهای هوشمند و فراهم کردن بسترها استقرار تجهیزات فناوری‌های پیشرفته را ایجاد کنند. علاوه بر این، نوآوری‌های تکنولوژیکی برای تولید مجدد، بازیابی محصول/مواد و فناوری‌های مربوط به جمع‌آوری داده‌ها را استقرار دهند. چون که مراکز جمع‌آوری لاستیک‌ها در سطح شهرها بسیار زیاد می‌باشد و فناوری‌های پیشرفته می‌توانند برای شناسایی این مراکز و ردیابی محصولات و یا ضایعات لاستیک ضروری باشند.

از طرفی دیگر، صنعت لاستیک‌سازی در «همکاری استراتژیک با شرکاء زنجیره‌تأمین معکوس» بسیار ضعیف می‌باشد. پیشنهاد می‌شود که برنامه‌ریزی مشارکتی دقیق با شرکاء زنجیره‌تأمین معکوس شامل جمع‌آوری‌کنندگان، لجستیک معکوس، شرکت‌های بازیافت کننده و تولیدکننده، بازاریابان و توزیع‌کنندگان لاستیک صورت گیرد که مدیران از طریق آن بتوانند شیوه‌های سبز هوشمند برای برگشتی‌های لاستیک میان شرکاء را طراحی کنند و کانال‌های هوشمند با اعضاء شرکاء را بهبود دهند. برای دستیابی به این هدف نیاز است تا مدیران شرکاء صنعت لاستیک‌سازی، پلتفرم‌های یکپارچه در طول زنجیره‌تأمین معکوس با شرکاء را اجرا کنند تا با بهبود اتصال با شرکاء از طریق پلتفرم‌های دیجیتال بتوانند برنامه‌ریزی و پیش‌بینی‌های تقاضا و برگشتی‌ها را تخمین بزنند. همچنین پیشنهاد می‌شود در طول زنجیره‌تأمین معکوس، به‌اشتراک‌گذاشتن داده‌ها و اطلاعات و سفارشات با شرکای زنجیره‌تأمین شامل مشتریان، شخص ثالث و خرده‌فروشان به‌منظور جلوگیری از برگشت‌های غیر ضروری برنامه‌ریزی شود. در این خصوص فناوری‌های اینترنت اشیاء و داده کلان مؤثر هستند. پیشنهاد می‌شود که برنامه‌ریزی مشارکتی را از طریق تعریف سیاست و چشم‌انداز یکپارچه با شرکاء زنجیره‌تأمین معکوس بهبود دهند. این امر موجب می‌شود تا کل اعضاء زنجیره‌تأمین معکوس صنعت لاستیک‌سازی، به‌دلیل داشتن اهداف مشترک بتوانند با یکدیگر همکاری و برنامه‌ریزی بیشتری داشته باشند.

برای انجام هر پژوهشی محدودیت‌هایی وجود دارد و این پژوهش نیز از این امر مستثنی نیست. اولاً، نتایج پژوهش مربوط به شرکت با اندازه بزرگ بوده و برای سازمان-های کوچک و متوسط قابل تعمیم نیست و دوماً، این پژوهش به صورت مقطعی انجام شده است و به‌همین دلیل، نتیجه گیری درباره علیت را دشوار می‌سازد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود تا محققین در آینده ابعاد و معیارهای استراتژیک مدیریت زنجیره‌تأمین معکوس هوشمند را برای سازمان‌های کوچک‌ومتوسط استخراج کنند و علاوه بر این، عوامل مؤثر در هماهنگی‌های بین‌بخشی در زنجیره‌تأمین معکوس و سناریوهای مربوط به بکارگیری فناوری‌های هوشمند در زنجیره‌تأمین معکوس را در نظر بگیرند.

تشکر و سپاسگزاری

از تمام افرادی که به‌نحوی در انجام مطالعه نقش داشته‌اند مورد تقدیر قرار می‌گیرند.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

References

Abdel-Basset, M., Manogaran, G., & Mohamed, M. (2018). Internet of Things (IoT) and its impact on supply chain: A framework for building smart, secure and efficient systems. **Future Generation Computer Systems**, *86*, 614–628. https://doi.org/10.1016/j.future.2018.04.051.

Akdogan, A. A., & Demirtas, O. (2014). Managerial role in strategic supply chain management. **Procedia-Social and Behavioral Scien**ces, *150*, 1020-1029. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.09.114.

Andoni, M., Robu, V., Flynn, D., Abram, S., Geach, D., Jenkins, D., McCallum, P., Peacock, A. (2019). Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. **Renew. Sustain. Energy Rev**. *100*, 143–174. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.014.

Aslam, J., Saleem, A., Khan, N. T., & Kim, Y. B. (2021). Factors influencing blockchain adoption in supply chain management practices: A study based on the oil industry. **Journal of Innovation & Knowledge**, *6*(2), 124–134. https://doi.org/10.1016/j.jik.2021.01.002.

Bag, S., & Pretorius, J. H. C. (2020). Relationships between industry 4.0, sustainable manufacturing and circular economy: proposal of a research framework. **International Journal of Organizational Analysis**, *30*(4), 864-898. https://doi.org/10.1108/IJOA-04-2020-2120.

Bányai, T., Bányai, Á., & Kaczmar, I. (Eds.). (2022). Supply Chain - Recent Advances and New Perspectives in the Industry 4.0 Era. I**ntechOpen**. https://doi.org/10.5772/intechopen.98060.

Batista, L., Bourlakis, M., Smart, P., Maull, R. (2018). In search of a circular supply chain archetypeea content-analysis-based literature review. **Prod. Plann. Contr**, *29*(6), 438-451. https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1343502.

Bilgin, E.A. (2021). Industry 4.0 and sustainable supply chain. **M U Iktisadi ve Idari Bilimler Dergisi**, *43*(1), 123-144. https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.07.094.

Borgi, T., Zoghlami, N., & Abed, M. (2017). Big data for transport and logistics: A review. In **2017 International Conference on**

Advanced Systems and Electric Technologies *(IC_ASET)* (pp. 44-49). IEEE. https://doi.org/10.1109/ASET.2017.7983742.

Bouzon, M., Govindan, K., Rodriguez, C., Campos, L. (2016). Identification and analysis of reverse logistics barriers using fuzzyDelphi method and AHP. **Resources, Conservation and Recycling**, *108*, 182-197. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.05.021.

Chauhan, C., Singh, A., & Luthra, S. (2020). Barriers to Industry 4.0 adoption and its performance implications: An empirical investigation of emerging economy. **Journal of Cleaner Production**, *284*, 124809. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124809.

De Oliveira, U. R., Espindola, L. S., da Silva, I. R., da Silva, I. N., & Rocha, H. M. (2018). A systematic literature review on green supply chain management: Research implications and future perspectives. **Journal of Cleaner Production**, *187*, 537–561. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.083.

Dev, N. K., Shankar, R., & Qaiser, F. H. (2020). Industry 4.0 and circular economy: Operational excellence for sustainable reverse supply chain performance. **Resources, Conservation and Recycling**, *153*, 104583. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104583.

Doan, L. T. T., Amer, Y., Lee, S.-H., Phuc, P. N. K., & Dat, L. Q. (2019). A Comprehensive Reverse Supply Chain Model using an Interactive Fuzzy Approach - a Case Study on the Vietnamese Electronics Industry. **Applied Mathematical Modelling**, *76*, 87-108. https://doi.org/10.1016/j.apm.2019.06.003.

Farooque, M., Zhang, A., Thürer, M., Qu, T., & Huisingh, D. (2019). Circular supply chain management: A definition and structured literature review. **Journal of Cleaner Production**, *228*, 882–900. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.303.

Fatorachian, H. and Kazemi, H. (2020). Impact of industry 4.0 on supply chain performance. **Production Planning and Control**, 11, 1-19. https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1712487.

Gao, Y. L., Gong, B., Liu, Z., Tang, J., & Wang, C. (2023). The behavioural evolution of the smart electric vehicle battery reverse supply chain under government supervision. **Industrial Management & Data Systems**, *123*(10), 2577-2606. https://doi.org/10.1108/IMDS-10-2022-0639.

García-Sánchez, E., Guerrero-Villegas, J., & Aguilera-Caracuel, J. (2018). How Do Technological Skills Improve Reverse Logistics? The Moderating Role of Top Management Support in Information

Technology Use and Innovativeness. **Sustainability**, *11*(1), 58. https://doi.org/10.3390/su11010058.

Garrido-Hidalgo, C., Olivares, T., Ramirez, F. J., & Roda-Sanchez, L. (2019). An end-to-end Internet of Things solution for Reverse Supply Chain Management in Industry 4.0. **Computers in Industry**, *112*, 103127. https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.103127.

Hair Jr, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., Sarstedt, M., Danks, N. P., Ray, S., ... & Ray, S. (2021). An introduction to structural equation modeling. **Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) using R: a workbook**, 1-29. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80519-7_1.

Ilgin, M. A., & Gupta, S. M. (2010). Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): A review of the state of the art. **Journal of environmental management**, *91*(3), 563-591. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.09.037.

Issaoui, Y., Khiat, A., Bahnasse, A., & Ouajji, H. (2019). Smart logistics: Study of the application of blockchain technology. **Procedia Computer Science**, *160*, 266–271. https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.467.

Kanashiro, P. (2020). Can environmental governance lower toxic emissions? A panel study of US high- polluting industries. **Business Strategy and the Environment**, *29*(4), 1634-1646. https://doi.org/10.1002/bse.2458.

Kazancoglu, Y., Ekinci, E., Mangla, S. K., Sezer, M. D., & Kayikci, Y. (2021). Performance evaluation of reverse logistics in food supply chains in a circular economy using system dynamics. **Business Strategy and the Environment**, *30*(1), 71-91. https://doi.org/10.1002/bse.2610.

Krstić, M., Agnusdei, G. P., Miglietta, P. P., Tadić, S., & Roso, V. (2022). Applicability of Industry 4.0 Technologies in the Reverse Logistics: A Circular Economy Approach Based on COmprehensive Distance Based RAnking (COBRA) Method. **Sustainability**, *14*(9), 5632. https://doi.org/10.3390/su14095632.

Kumar, A., Choudhary, S., Garza-Reyes, J. A., Kumar, V., Rehman Khan, S. A., & Mishra, N. (2021). Analysis of critical success factors for implementing industry 4.0 integrated circular supply chain–Moving towards sustainable operations. **Production Planning & Control**, 984-998. https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1980905.

Le, T. (2020). Performance measures and metrics in a supply chain environment. **Uncertain Supply Chain Management**, *8*(1), 93-104. https://doi.org/10.1108/01443570110358468.

Liu, Z., & Li, Z. (2019). A blockchain-based framework of cross-border e-commerce supply chain. **International Journal of Information Management**, *52*, 102059. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.102059.

Luthra, S., & Mangla, S. K. (2018). Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. **Process Safety and Environmental Protection**, *117*, 168-179. https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.04.018.

Mahindroo, A., Samalia, H. V., & Verma, P. (2018). Moderated influence of return frequency and resource commitment on information systems and reverse logistics strategic performance. **International Journal of Productivity and Performance Management**, *67*(3), 550–570. https://doi.org/10.1108/ijppm-05-2016-0101.

Masoumik, S. M., Abdul-Rashid, S. H., Olugu, E. U., & Ghazilla, R. A. R. (2015). A Strategic Approach to Develop Green Supply Chains. **Procedia CIRP**, *26*, 670–676. https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.091.

Mastos, T. D., Nizamis, A., Terzi, S., Gkortzis, D., Papadopoulos, A., Tsagkalidis, N., ... & Tzovaras, D. (2021). Introducing an application of an industry 4.0 solution for circular supply chain management. **Journal of Cleaner Production**, 300, 126886. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126886.

Modiri, M., Shiramin, M. D., & Karimi Shirazi, H. (2019). Identification and Prioritization of Influencing Factors on Safety Performance with hybrid Fuzzy DEMATEL and Analytical Network Process Approach (DANP)(Case Study: A Combined Cycle Power Plant). **Journal of Health & Safety at Work**, *9*(1), 49-60. [In Persian]. http://jhsw.tums.ac.ir/article-1-6038-en.html.

Morgan, T. R., Richey Jr, R. G., & Autry, C. W. (2016). Developing a reverse logistics competency. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, *46*(3), 293–315. https://doi.org/10.1108/ijpdlm-05-2014-0124.

Muchaendepi, W., Mbowa, C., Kanyepe, J., & Mutingi, M. (2019). Challenges faced by the mining sector in implementing sustainable supply chain management in Zimbabwe. **Procedia Manufacturing**, *33*, 493–500. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.061.

Pourmehdi, M., Paydar, M. M., Ghadimi, P., & Azadnia, A. H. (2022). Analysis and evaluation of challenges in the integration of Industry 4.0 and sustainable steel reverse logistics network. **Computers &**

Industrial Engineering, *163*, 107808. https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107808.

Rahnamayiezekavat, P., Sorooshnia, E., Rashidi, M., Faraji, A., Mostafa, S., & Moon, S. (2022). Forensic analysis of the disputes typology of the NSW construction industry using PLS-SEM and prospective trend analysis. **Buildings**, *12*(10), 1571. https://doi.org/10.3390/buildings12101571.

Rajput, S., & Singh, S. P. (2021). Industry 4.0 model for integrated circular economy-reverse logistics network. **International Journal of Logistics Research and Applications**, 1–41. https://doi.org/10.1080/13675567.2021.1926950.

Shang, C., Saeidi, P. and Goh, C.F. (2022). Evaluation of circular supply chains barriers in the era of Industry 4.0 transition using an extended decision-making approach. **Journal of Enterprise Information Management**, *35*(4/5), 1100-1128. https://doi.org/10.1108/JEIM-09-2021-0396.

Sharma, M., Kamble, S., Venkatesh, M., Sehrawat, R., Belhadi, A., & Sharma, V. (2020). Industry 4.0 adoption for sustainability in multi-tier manufacturing supply chain in emerging economies. **Journal of Cleaner Production**, *281*, 125013. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125013.

Shoaib, M., Lim, M. K., & Wang, C. (2020). An integrated framework to prioritize blockchain-based supply chain success factors. **Industrial Management & Data Systems**, *120*(11), 2103–2131. https://doi.org/10.1108/imds-04-2020-0194.

Singh, R. K., & Agrawal, S. (2018). Analyzing disposition strategies in reverse supply chains: fuzzy TOPSIS approach. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, *29*(3), 427–443. https://doi.org/10.1108/meq-12-2017-0177.

Singh, R. K., Kumar, R., & Kumar, P. (2016). Strategic issues in pharmaceutical supply chains: a review. **International Journal of Pharmaceutical and Healthcare Marketing**, *10*(3), 234–257. https://doi.org/10.1108/ijphm-10-2015-0050.

Sun, X., Yu, H., & Solvang, W. D. (2022). Towards the smart and sustainable transformation of Reverse Logistics 4.0: a conceptualization and research agenda. **Environmental Science and Pollution Research**, *29*(46), 69275–69293. https://doi.org/10.1007/s11356-022-22473-3.

Tseng, M.-L., Islam, M. S., Karia, N., Fauzi, F. A., & Afrin, S. (2019). A literature review on green supply chain management: Trends and

future challenges. **Resources, Conservation and Recycling**, *141*, 145–162. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.0.

Vimal, K. E. K., Churi, K., & Kandasamy, J. (2022). Analysing the drivers for adoption of Industry 4.0 technologies in a functional paper–cement–sugar circular sharing network. **Sustainable Production and Consumption**, *31*, 459-477. https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.03.006.

Wanganoo, L., & Tripathi, R. (2023). Reverse Logistics: Rebuilding Smart and Sustainable Transformation Based on Industry 4.0. **In Fostering Sustainable Development in the Age of Technologies**, 129-143. https://doi.org/10.1108/978-1-83753-060-120231011.

Wanganoo, L., Panda, B. P., Tripathi, R., & Shukla, V. K. (2021, March). Harnessing smart integration: Blockchain-enabled B2C reverse supply chain. In 2021 **International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy** *(ICCIKE)* (pp. 261-266). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICCIKE51210.2021.9410677.

Xu, X. Q., Jin, C., & Cao, Y. D. (2012). Smart Reverse Supply Chain: An Application of IoT to Green Manufacturing. **Applied Mechanics and Materials**, *141*, 493–497. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.141.493.

Yadav, S., & Singh, S. P. (2020). Blockchain critical success factors for sustainable supply chain. **Resources, Conservation and Recycling**, *152*, 104505. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.1045.

COPYRIGHTS

© 2023 by the authors. Licensee Advances in Modern Management Engineering Journal. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).