

## مدل سازی شاخص های پایداری زنجیره تأمین پتروشیمی و تعیین اولویت ها

# M Modeling Sustainability Indicators of the Petrochemical Supply Chain and Determining Priorities

### چکیده

پژوهش حاضر با هدف مدل سازی و ارزیابی شاخص های پایداری زنجیره تأمین پتروشیمی انجام شده است. در این مطالعه، ابتدا داده های اولیه از طریق مرور منابع علمی و مصاحبه با خبرگان این حوزه گردآوری و شاخص های کلیدی پایداری شناسایی شدند. این شاخص ها در چهار بُعد اصلی دسته بندی شده اند: زیست محیطی (مانند کاهش مصرف انرژی و کنترل انتشار گازهای گلخانه ای)، اجتماعی (شامل ارتقای مسئولیت اجتماعی و بهبود ایمنی و سلامت کارکنان)، اقتصادی (مانند بهینه سازی هزینه ها و افزایش بهره وری)، و حکمرانی (نظیر شفافیت در گزارش دهی و رعایت استانداردهای بین المللی). برای تحلیل روابط میان شاخص ها و تعیین میزان اهمیت و تأثیرگذاری آن ها، از یک رویکرد سیستمی استفاده شده که توانایی شناسایی ارتباطات مستقیم و غیرمستقیم بین عوامل را دارد. نتایج نشان داد که شاخص هایی نظیر کاهش مصرف انرژی و استفاده از منابع تجدیدپذیر در بعد زیست محیطی، بیشترین تأثیرگذاری را بر سایر عوامل دارند. همچنین، عواملی مانند شفافیت در گزارش دهی و رعایت استانداردهای بین المللی در بعد حکمرانی، نقش کلیدی در ارتقای پایداری زنجیره تأمین ایفا می کنند. این پژوهش نشان داد که یکپارچه سازی ابعاد زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی و حکمرانی در چارچوبی جامع، می تواند به ارزیابی و بهبود پایداری زنجیره تأمین کمک کند. چنین چارچوبی، سازمان ها را قادر می سازد تا ضمن دستیابی به اهداف اقتصادی، تعهدات زیست محیطی و اجتماعی خود را نیز محقق کنند. همچنین، انعطاف پذیری این چارچوب امکان سازگاری با تغییرات بازار و چالش های نوظهور را فراهم می کند. رویکرد به کار گرفته شده با شفاف سازی ارتباطات میان شاخص ها، به صنایع پتروشیمی کمک می کند تا تصمیمات موثرتری برای بهبود عملکرد پایدار خود اتخاذ کنند.

کلمات کلیدی: زنجیره تأمین پایدار، صنعت پتروشیمی، شاخص های زیست محیطی، شاخص های اقتصادی، شاخص های اجتماعی، حکمرانی پایدار.

نوع مقاله: پژوهشی

مسعود رئوفی راد<sup>۱</sup>، محمد رضا فتحی<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکدگان فارابی دانشگاه تهران، قم، ایران

۲. دانشیار دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکدگان فارابی دانشگاه تهران، قم، ایران

reza.fathi@ut.ac.ir

ایمیل نویسندگان و عهده دار مکاتبات:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۷

## مقدمه

تعیین پایداری دارد، کاربردی و مؤثر است. تحقیقات پیشین نشان داده‌اند که استفاده از شاخص‌های کمی و کیفی در ارزیابی پایداری زنجیره تأمین، می‌تواند به ارتقای شفافیت، پاسخگویی و بهبود عملکرد کلی زنجیره تأمین کمک کند. با این حال، شکاف‌های قابل توجهی در ادبیات علمی وجود دارد، از جمله عدم استانداردسازی شاخص‌ها، کمبود شاخص‌های کمی و نیاز به یکپارچگی در ارزیابی‌های مختلف. این مطالعه با هدف شناسایی و اولویت بندی شاخص‌های کلیدی پایداری در زنجیره تأمین پتروشیمی، به تحلیل دقیق‌تری از تأثیرات این شاخص‌ها بر یکدیگر پرداخته و با استفاده از تکنیک دیمتل، چارچوبی یکپارچه برای ارزیابی پایداری ارائه می‌دهد. این پژوهش می‌تواند به توسعه رویکردهای مدیریتی مؤثر در صنعت پتروشیمی و بهبود عملکرد پایدار زنجیره تأمین کمک شایانی نماید. همچنین، با بررسی چالش‌ها و فرصت‌های پیش روی زنجیره تأمین پایدار در صنعت پتروشیمی، نتایج حاصل از تحلیل دیمتل می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در تدوین استراتژی‌های بهینه در راستای بهبود پایداری و عملکرد کلی زنجیره تأمین یاری رساند.

## پیشینه پژوهش

مدیریت زنجیره تأمین پایدار (SSCM) به عنوان یکی از حوزه‌های کلیدی در تحقیقات مرتبط با پایداری شناخته شده است، که ناشی از فشارهای فزاینده برای ایجاد توازن میان عملکرد اقتصادی و مسئولیت‌های زیست محیطی و اجتماعی است. در این چارچوب، مفهوم پایداری به طور سنتی به سه بعد اصلی زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی توجه داشته است. این سه بعد اصلی، مجموعه‌ای از شاخص‌ها را در بر می‌گیرد که برای ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین در مواجهه با

مدیریت زنجیره تأمین پایدار<sup>1</sup> (SSCM) به عنوان یک حوزه تحقیقاتی کلیدی در پاسخ به چالش‌های محیطی، اجتماعی و اقتصادی معاصر، از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار است. با توجه به رشد سریع صنایع و نیاز روزافزون به منابع طبیعی، ایجاد توازن بین توسعه اقتصادی و مسئولیت‌های اجتماعی و زیست محیطی به یک ضرورت تبدیل شده است. صنعت پتروشیمی به عنوان یکی از مهم‌ترین و تأثیرگذارترین بخش‌های اقتصادی، نیازمند توجه ویژه به ابعاد پایداری در زنجیره تأمین خود است. این صنعت نه تنها در تولید مواد اولیه برای محصولات مختلف نقش حیاتی دارد، بلکه به دلیل تأثیرات زیست محیطی و اجتماعی‌اش، مسئولیت بیشتری در قبال پایداری دارد. تاریخچه مدیریت زنجیره تأمین پایدار به دهه‌های اخیر بازمی‌گردد، که در آن پژوهشگران و فعالان صنعت به تدریج بر اهمیت تأثیرات زیست محیطی و اجتماعی فرآیندها تأکید کردند. در این راستا، پایداری در زنجیره تأمین شامل مجموعه‌ای از شاخص‌هاست که عملکرد تمامی ذی‌نفعان را از منظر تأثیرات زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی ارزیابی می‌کند. با این حال، چالش‌های متعددی در شناسایی و اولویت بندی این شاخص‌ها وجود دارد که نیازمند استفاده از رویکردهای جامع و سیستماتیک است. تکنیک دیمتل به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری چندمعیاره، به تحلیل روابط پیچیده میان شاخص‌های مختلف و تعیین اولویت‌های کلیدی کمک می‌کند. این تکنیک با شفاف‌سازی روابط علی و معلولی، امکان درک بهتر تأثیرات متقابل شاخص‌ها را فراهم می‌آورد و به صنایع کمک می‌کند تا تصمیمات بهینه‌تری اتخاذ کنند. روش دیمتل به ویژه در شرایط پیچیده زنجیره‌های تأمین، که تعاملات بین معیارها نقش اساسی در

1.Sustainable supply chain management

موجود شاخص‌های پایداری را به سه بُعد اصلی تقسیم بندی می‌کند: زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی. شاخص‌های زیست محیطی معمولاً بر مصرف منابع، مدیریت پسماند و انتشار گازهای گلخانه‌ای تمرکز دارند، شاخص‌های اجتماعی به حقوق کارگران، مشارکت جامعه و روابط با ذی‌نفعان می‌پردازند. شاخص‌های اقتصادی نیز عملکرد مالی، کارایی هزینه و سودآوری را ارزیابی می‌کنند. در صنایع پتروشیمی، توجه به سه بُعد اصلی شاخص‌های زنجیره تامین پایدار شامل: اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی ضروری است (سورینگ و مولر<sup>۳</sup> ۲۰۰۸). مدیریت زنجیره تامین پایدار به عنوان یک رویکرد جامع برای مدیریت چرخه تامین کالا و خدمات، با هدف حفظ و تقویت مزایای اقتصادی، زیست محیطی، و اجتماعی شناخته می‌شود. به ویژه در صنایع پتروشیمی، اهمیت این رویکرد در کاهش اثرات زیست محیطی و بهبود بهره‌وری منابع از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر اساس پژوهش‌های صورت گرفته، جادری<sup>۴</sup> (۲۰۱۲) به اهمیت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر اشاره دارد. این در حالی است که امیری و میرابی<sup>۵</sup> (۲۰۲۴) با استفاده از روش فرا تلفیق به شناسایی شاخص‌های ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE) پرداخته و نقش این شاخص‌ها را در بهبود تصمیم‌گیری‌های استراتژیک و کاهش ریسک‌های عملیاتی و زیست محیطی برجسته کرده‌اند. فتحی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی به ارائه چارچوبی برای شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های عملکردی زنجیره تامین پایدار پرداختند. امعه‌ی آماری این پژوهش، مدیران و کارشناسان شرکت لاستیک یزد در استان یزد است و تعداد نمونه‌ی آماری انتخاب شده ۵۲ نفر است. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها در این پژوهش، از روش تاپسیس

چالش‌های محیطی، اقتصادی و اجتماعی استفاده می‌شوند. با این حال، پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که علاوه بر این سه بُعد، بُعد حکمرانی نیز به عنوان یکی از عوامل کلیدی برای دستیابی به زنجیره تامین پایدار باید مورد توجه قرار گیرد. حکمرانی به معنای اتخاذ سیاست‌ها و تصمیم‌گیری‌های مؤثر، شفافیت و پاسخگویی در تمامی سطوح زنجیره تامین است که نقش مهمی در تقویت پایداری دارد. بنابراین معرفی و اولویت بندی شاخص‌های پایداری در زنجیره تامین نه تنها باید بر ابعاد زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی متمرکز باشد، بلکه باید بُعد حکمرانی را نیز در بر بگیرد تا بتواند تمامی ابعاد پایداری را به طور جامع پوشش دهد. این امر با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، نظیر تکنیک دیمتل، که برای ارزیابی و تعیین روابط پیچیده بین شاخص‌ها مناسب است، امکان پذیر خواهد بود. هدف از این مرور ادبیات، تحلیل انتقادی پژوهش‌های موجود در زمینه شاخص‌های پایداری زنجیره تامین، شناسایی خلأهای موجود و تأکید بر اهمیت گنجاندن شاخص حکمرانی به عنوان بُعد چهارم در چارچوب پایداری است. مقاله حاضر تلاش دارد تا به این خلأ پژوهشی پرداخته و به ارائه رویکردی جامع‌تر در ارزیابی شاخص‌های پایداری کمک کند. شاخص‌های پایداری به عنوان ابزارهای اساسی برای اندازه‌گیری عملکرد زنجیره‌های تامین در رابطه با ابعاد زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی عمل می‌کنند. مطالعات مختلفی بر اهمیت این شاخص‌ها در ارتقای شفافیت، پاسخگویی و بهبود مستمر در زنجیره‌های تامین تأکید کرده‌اند (ژو و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۳). به عنوان مثال، پژوهشی که توسط اوکای و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۲۴) انجام شده است، به نیاز به شاخص‌های عملکرد قوی برای ارزیابی عملکرد پایداری در بخش‌های مختلف اشاره دارد. ادبیات

1. Xu et al

2. Okay et al

3. Seuring &amp; Müller

4. Jaderi

5. Amiri &amp; Mirabi

برای حل مدل، از الگوریتم‌های فراابتکاری NSGA-II و MOP-SO استفاده شده است. تحقیق اوکای و همکاران (۲۰۲۴) نشان داد که استفاده از شاخص‌های کمی در حوزه‌های زیست محیطی و اجتماعی، نقش مهمی در بهبود عملکرد پایداری زنجیره تأمین دارد. این شاخص‌ها با کاهش اثرات منفی زیست محیطی و افزایش مسئولیت‌های اجتماعی شرکت‌ها، به سازمان‌ها کمک می‌کنند تا عملکرد خود را در برابر اهداف پایداری به طور دقیق ارزیابی و بهبود بخشند. ابزارهای کمی ارائه شده، نه تنها به کاهش هزینه‌ها کمک می‌کنند، بلکه بهره‌وری و تصمیم‌گیری‌های استراتژیک را نیز بهبود می‌بخشند. بعد اجتماعی پایداری شامل مسئولیت‌های اجتماعی شرکت‌ها و تضمین حقوق بشر در زنجیره تأمین است. گویندان و حسناجیک<sup>۱</sup> (۲۰۲۱) بر اهمیت پیاده‌سازی اقتصاد چرخشی در زنجیره تأمین تأکید کرده‌اند که می‌تواند به کاهش ضایعات و بهبود کارایی منابع کمک کند. این پژوهش نشان می‌دهند که زنجیره تأمین چرخشی نه تنها منجر به کاهش ضایعات زیست محیطی می‌شود، بلکه باعث افزایش بهره‌وری اقتصادی نیز می‌گردد. بورچ و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۲۳) معتقد بودند پیروی از استانداردهای بین‌المللی مانند ISO 14001 برای مدیریت زیست محیطی و ISO 45001 برای ایمنی و بهداشت شغلی، از ارکان حیاتی برای دستیابی به زنجیره تأمین پایدار است. این استانداردها به کاهش اثرات زیست محیطی منفی و بهبود شرایط کاری کمک می‌کنند و در مطالعات مختلف به عنوان شاخص‌های مهم حکمرانی پایدار معرفی شده‌اند. در موضوع حکمرانی در زنجیره تأمین پایدار، دو مطالعه برجسته به بررسی مکانیسم‌های حکمرانی و تأثیر آن‌ها بر زنجیره تأمین پرداخته‌اند. مقاله‌ای از سارکیس و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۲۰) نشان داد که ارزیابی تأمین‌کنندگان و همکاری در

فازی استفاده شده است. نتیجه‌های پژوهش نشان می‌دهد که از بین شاخص‌های اقتصادی، "افزایش سودآوری؛ زیست‌محیطی، "صرف انرژی و آلودگی ایجادشده؛ و اجتماعی، "مسئولیت‌پذیری اجتماعی شرکت" دارای بالاترین اولویت هستند. در پایان پژوهش، پیشنهاد‌های اجرایی و پیشنهاد‌هایی برای پژوهش‌های آینده ارائه شده است. سهرابی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به مدل‌سازی ریاضی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته سبز با در نظر گرفتن ریسک تأمین پرداختند. در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط چند هدفه فازی که به دنبال حداقل کردن هزینه‌ها، حداقل کردن اثرات زیست محیطی و حداقل کردن ریسک تأمین مواد اولیه می‌باشد، ارائه شده است. این مدل در برگیرنده تمام سطوح زنجیره تأمین حلقه بسته می‌باشد و نسبت به مدل‌های طراحی شبکه زنجیره تأمین قبلی جامعیت دارد. جهت پیاده‌سازی مدل تدوین شده، از داده‌های شرکت شیشه‌سازی همدان استفاده می‌کنیم. در ادامه مدل برنامه‌ریزی ریاضی پیشنهادی با یک روش حل دقیق حل شده است که نتایج آن نشان‌دهنده مکان و ظرفیت تسهیلات، میزان تولید در مراکز تولید، تعیین تکنولوژی می‌باشد. فتحی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی به مدل‌سازی ریاضی شبکه زنجیره تأمین پایدار در وضعیت عدم قطعیت و حل آن با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری پرداختند. در این مقاله برای به حداقل رساندن آثار زیست‌محیطی و حداکثرسازی آثار اجتماعی و سود اقتصادی، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط چندهدفه فازی، به منظور طراحی زنجیره تأمین پایدار حلقه بسته در وضعیت عدم قطعیت ارائه شده است. در این مدل، هم محدودیت‌ها و هم پارامترهای مسئله از نوع فازی است که با استفاده از روش خیمنز قطعی شده و

1. Govindan &amp; Hasanagic

2. Burch

3. Sarkis et al

رقابتي پایدار برای زنجیره تأمین پتروشیمی ارائه داده‌اند که توانسته‌اند با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی پویا، کارایی زنجیره تأمین را در شرایط اقتصادی ناپایدار حفظ کنند، بعلاوه وان هوک<sup>۴</sup> (۲۰۲۰) نیز به این موضوع پرداخته است که استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در مواجهه با چالش‌های زنجیره تأمین در دوران پسا کرونا می‌تواند به بهبود انعطاف پذیری زنجیره تأمین کمک کند. وی تأکید دارد که برای دستیابی به زنجیره تأمین پایدار و مقاوم در برابر بحران‌ها، روش‌های تصمیم‌گیری جامع مورد نیاز است. در زمینه اقتصادی، مطالعاتی مانند ویجیالاکشیمی و مرادی نسب و فلمینگ از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای ارزیابی و اولویت بندی شاخص‌های اقتصادی مانند کاهش هزینه‌های عملیاتی و بهره‌وری منابع استفاده کرده‌اند. در جدول (۱) مقایسه مطالعات پیشین صورت گرفته است.

زنجیره تأمین، از طریق مدل‌یابی معادلات ساختاری و تحلیل خوشه‌ای، منجر به بهبود عملکرد زیست محیطی می‌شوند. همچنین ولت<sup>۱</sup> (۲۰۲۴) به بررسی تأثیر حکمرانی هیأت مدیره پایدار بر گزارش دهی زنجیره تأمین پایدار پرداخته است. این مطالعه نشان داد که وجود کمیته‌های پایداری و شفافیت در گزارش دهی می‌تواند تأثیرات مثبتی بر پایداری زنجیره تأمین داشته باشد. استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای ارزیابی و اولویت بندی شاخص‌های مختلف پایداری در صنایع پتروشیمی بسیار رایج است. به عنوان مثال، ویجیالاکشیمی<sup>۲</sup> (۲۰۱۶) از فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای توسعه شاخص‌های تولید پایدار در صنعت پتروشیمی استفاده کرده است. او نشان داد که شاخص‌های اقتصادی و زیست محیطی نقش مهمی در بهبود بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها دارند. همچنین، مرادی نسب و فلمینگ<sup>۳</sup> (۲۰۱۹) یک مدل

جدول ۱. مقایسه مطالعات پیشین

مطالعه	سال	روش تحقیق	شاخص‌های کلیدی	نتایج اصلی
al et Xu	۲۰۲۳	مرور ادبیات	شاخص‌های زیست محیطی، اجتماعی و حکمرانی	شاخص‌های ESG تأثیر مثبتی بر پایداری زنجیره تأمین رشت اقتصادی و سیاست‌گذاری دارند و به شرکت‌ها کمک می‌کنند تا اقدامات پایدارتر، مسئولانه‌تر و شفاف‌تر انجام دهند
& Seuring Müller	۲۰۰۸	مرور ادبیات	کاهش هزینه‌های عملیاتی، بهره‌وری منابع	ایجاد چارچوبی مفهومی برای SSCM با تأکید بر پایداری اقتصادی و زیست محیطی
Jaderi	۲۰۱۲	تحلیل کیفی	انتشار گازهای گلخانه‌ای، انرژی تجدیدپذیر	بهبود تصویر عمومی شرکت‌ها و کاهش هزینه‌های عملیاتی
Searcy & Ahi	۲۰۱۳	تحلیل مقایسه‌ای ادبیات	شاخص‌های اقتصادی، زیست محیطی، اجتماعی	تفاوت و شباهت بین زنجیره تأمین سبز و پایدار
Velte	۲۰۲۴	تحلیل همبستگی و نظریه ذینفعان	شاخص حاکمیت هیئت مدیره	حاکمیت پایدار هیئت مدیره تأثیر قابل توجهی بر گزارش دی پایدار زنجیره تأمین دارد
all et Rajeev	۲۰۱۷	مرور ادبیات	معیارهای اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی	توسعه چارچوب جامع SSCM برای صنایع مختلف

1. Velte

2. Vijayalakshmi

3. Moradinassab &amp; Fleming

4. Van Hoek

پایاده سازی اقتصاد چرخشی در SME برای بهبود پایداری زنجیره تأمین	اقتصاد چرخشی، بهره وری منابع، کاهش ضایعات	مطالعه تجربی	۲۰۲۰	all et Dey
توسعه مدل های کسب و کار چرخشی برای ارتقای SSCM	مدل های کسب و کار چرخشی، پایداری	مرور نظام مند ادبیات	۲۰۲۰	Centobelli all et
تحلیل داده های بزرگ برای بهبود پایداری و کاهش ریسک ها در زنجیره تأمین	کاهش ریسک های زنجیره تأمین، پایداری	تحلیل داده های بزرگ	۲۰۲۰	all et Mani
استفاده از روش چرخه شاخص نامناسب، بهبود پایداری زنجیره و کاهش هزینه ها را ممکن می سازد	شاخص های زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی	روش چرخه شاخص نامناسب	۲۰۲۴	all et Deng
شناسایی شاخص های HSE و ارائه مدل برای بهبود تصمیم گیری در صنایع پتروشیمی	شاخص های ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE)	فرا تالیق	۲۰۲۴	& Amiri Mirabi
توسعه مدل پایدار برای زنجیره تأمین پتروشیمی با حفظ رقابت پذیری در شرایط ناپایدار اقتصادی	شاخص های اقتصادی، رقابت پذیری	بهینه سازی پویا	۲۰۱۹	Moradinasab Fleming &
ارائه مدل برای توسعه شاخص های تولید پایدار در صنعت پتروشیمی	شاخص های اقتصادی و زیست محیطی	AHP	۲۰۱۶	Vijayalakshmi
بررسی موانع و محرک های اقتصاد چرخشی برای توسعه پایداری زنجیره تأمین	اقتصاد چرخشی، پایداری منابع، ضایعات	مرور نظام مند	۲۰۲۱	& Govindan Hasanagic
بررسی تأثیر پاندمی بر زنجیره تأمین و لزوم توسعه فناوری ها برای بهبود پایداری	COVID-۱۹، فناوری های نوین، زنجیره تأمین پایدار	مرور ادبیات	۲۰۲۰	all et Sarkis
پیشنهاد رویکردهای جدید برای افزایش انعطاف پذیری زنجیره تأمین در دوران پسا کرونا	انعطاف پذیری زنجیره تأمین، پسا کرونا، AHP	مرور ادبیات	۲۰۲۰	Hoek van
ارزیابی پایداری زیست محیطی و اجتماعی	شاخص های زیست محیطی و اجتماعی	ارزیابی کمی پایداری	۲۰۲۴	all et Okay
حاکمیت سازمانی می تواند به عنوان یک ابزار قدرتمند برای بهبود عملکرد زیست محیطی و اجتماعی شرکت ها شود	شاخص های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی و اصول حکمرانی	مرور سیستماتیک	۲۰۲۳	al et Burch
در کشورهایی با قوانین سخت گیرانه تر در زمینه پایداری، شرکت ها تمایل بیشتری به افشای اطلاعات مرتبط با زنجیره تأمین پایدار دارند.	زیست محیطی و حکمرانی	کمی تجربی	۲۰۲۴	Velte

اجتماعی و زیست محیطی را نیز به همراه دارد. همچنین، بومی‌سازی مدل‌های پایداری در مناطق مختلف در مدیریت زنجیره تأمین اهمیت زیادی در بهبود عملکرد کلی زنجیره تأمین دارد. با توجه به این یافته‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که ادغام ابعاد حاکمیت در کنار ابعاد اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی، رویکرد جامع‌تری برای توسعه زنجیره تأمین پایدار ارائه می‌دهد که نه تنها به بهبود عملکرد تجاری بلکه به افزایش مسئولیت پذیری در سطح کلان نیز منجر می‌شود. تحقیقات در زمینه مدیریت زنجیره تأمین پایدار به ویژه در صنایع پتروشیمی، به طور قابل توجهی در سال‌های اخیر افزایش یافته است. با این حال، هنوز شکاف‌های قابل توجهی در این حوزه وجود دارد که نیاز به بررسی دقیق‌تر دارند. با وجود پیشرفت‌های صورت گرفته در شناسایی شاخص‌های پایداری، هنوز چندین خلأ در ادبیات علمی باقی مانده است. عدم استانداردسازی: هیچ چارچوبی به طور جهانی برای شاخص‌های پایداری پذیرفته نشده است، که منجر به ناسازگاری در اندازه‌گیری و گزارش دهی در صنایع مختلف می‌شود (اوکی و همکاران<sup>۲</sup> ۲۰۲۴). کمبود شاخص‌های کمی: بسیاری از مطالعات بر ارزیابی‌های کیفی تمرکز دارند که می‌تواند ذهنی و کمتر قابل اعتماد باشد. نیاز به شاخص‌های کمی بیشتری است که معیارهای عینی عملکرد پایداری را ارائه دهند (اوکی و همکاران<sup>۲</sup> ۲۰۲۴).

عدم یکپارچگی شاخص‌ها: تحقیقات موجود اغلب شاخص‌های زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی را به صورت جداگانه مورد بررسی قرار می‌دهند. یک رویکرد یکپارچه که وابستگی‌های متقابل بین این ابعاد را در نظر بگیرد، برای ارزیابی جامع‌تر پایداری ضروری است (اوکی و همکاران<sup>۲</sup> ۲۰۲۴). ماهیت پویا زنجیره‌های تأمین: ماهیت متغیر و پویا

مقالات به طور عمده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مانند AHP و ISM و نیز مطالعات موردی و مرور ادبیات استفاده کرده‌اند. چندین چارچوب برای شناسایی و ارزیابی شاخص‌های پایداری پیشنهاد شده‌اند. به عنوان مثال، ابتکار جهانی گزارش دهی مجموعه کاملی از شاخص‌ها را فراهم می‌کند که سازمان‌ها می‌توانند برای اندازه‌گیری عملکرد پایداری خود از آنها استفاده کنند. همچنین، رویکردهای کمی مانند روش دلفی فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای اولویت بندی شاخص‌ها براساس اهمیت و تأثیر آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این روش‌ها به محققان کمک می‌کند تا شاخص‌های کلیدی در مدیریت زنجیره تأمین پایدار را شناسایی و اولویت بندی کنند (اوکی و همکاران<sup>۱</sup> ۲۰۲۴). مقالات متعددی به بررسی شاخص‌های مختلفی از جمله کاهش هزینه‌های عملیاتی، بهره‌وری منابع، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، مسئولیت‌های اجتماعی و حقوق بشر پرداخته‌اند. تأکید بر ابعاد اقتصادی، زیست محیطی، اجتماعی و همچنین ابعاد حاکمیتی، نشان‌دهنده جامعیت این مطالعات است. ابعاد حاکمیتی به خصوص شامل شفافیت در تصمیم‌گیری، رعایت قوانین و مقررات، و تضمین اخلاقیات تجاری در تمام مراحل زنجیره تأمین است. حاکمیت قوی در زنجیره تأمین می‌تواند اعتماد بین ذینفعان را افزایش دهد و تضمین کند که زنجیره تأمین با اصول پایداری مطابقت دارد. بسیاری از این مطالعات نشان داده‌اند که زنجیره تأمین پایدار با تمرکز بر کاهش هزینه‌ها، افزایش بهره‌وری منابع، بهبود عملکرد زیست محیطی و ارتقاء شاخص‌های اجتماعی و حاکمیتی، می‌تواند منجر به افزایش رقابت پذیری صنایع شود. این رویکرد به شفافیت و مسئولیت پذیری در مدیریت زنجیره تأمین منجر می‌شود که علاوه بر بهره‌وری اقتصادی، منافع

1. Vokay et all

2. Okay et all

همکاران ۲۰۲۴). با وجود پیشرفت‌های چشمگیر در شناسایی و ارزیابی شاخص‌های پایداری در زنجیره‌های تأمین، خلأهای قابل توجهی در زمینه استانداردسازی، اندازه‌گیری کمی، یکپارچگی و سازگاری وجود دارد. این مقاله با ارائه یک چارچوب استاندارد، کمی و یکپارچه که ارزیابی عملکرد پایداری در زنجیره‌های تأمین را بهبود می‌بخشد، به پر کردن این خلأها کمک می‌کند. این تحقیق نه تنها گفتمان علمی در مورد SSCM را پیش می‌برد، بلکه پیامدهای عملی مهمی برای کسب و کارهایی که به دنبال بهبود شیوه‌های پایداری خود هستند، فراهم می‌آورد.

### روش تحقیق

این تحقیق از نوع توصیفی-اکتشافی بوده و از روش‌های ترکیبی (کیفی و کمی) برای جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها بهره برده است. هدف اصلی این پژوهش شناسایی و ارزیابی شاخص‌های زنجیره تأمین پایدار در صنعت پتروشیمی و اولویت بندی آنها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بوده است. در این راستا، چند مرحله اصلی طی شده که در ادامه به تفصیل شرح داده می‌شود.

#### ۱. جمع‌آوری داده‌های اولیه

در مرحله آغازین این پژوهش، با هدف گردآوری داده‌های مرتبط با زنجیره تأمین پایدار، جستجوی جامعی در پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر از جمله Scopus، Google Scholar و Scien- ceDirect انجام شد. به منظور اطمینان از پوشش کامل و به روز ادبیات علمی، محدوده زمانی جستجو به بازه ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۴ محدود گردید. در این فرآیند، مقالاتی که مستقیماً به بررسی زنجیره تأمین پایدار در صنایع مختلف پرداخته بودند، به دقت انتخاب شدند. معیارهای اصلی برای انتخاب مقالات

زنجیره‌های تأمین جهانی به شاخص‌هایی نیاز دارد که بتوانند با چالش‌ها و فرصت‌های جدید سازگار شوند. چارچوب‌های کنونی ممکن است به طور کامل این جنبه پویا را در نظر نگیرند (اوکی و همکاران ۲۰۲۴).

این مقاله به چندین شکل به این خلأها می‌پردازد. استانداردسازی شاخص‌ها با استفاده از تکنیک دیمتل (آزمایش و ارزیابی آزمایشگاهی تصمیم‌گیری)، مقاله به دنبال ایجاد مجموعه استاندارد از شاخص‌های پایداری است که می‌توانند در صنایع مختلف به کار گرفته شوند. این رویکرد باعث افزایش قابلیت اطمینان و مقایسه پذیری ارزیابی‌های پایداری می‌شود (اوکی و همکاران ۲۰۲۴). تأکید بر شاخص‌های کمی: استفاده از تکنیک دیمتل امکان تحلیل کمی روابط بین شاخص‌های مختلف پایداری را فراهم می‌آورد. دنگ و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۲۴) این تمرکز بر تحلیل کمی به خلأیی که اغلب به ارزیابی‌های کیفی پرداخته است، پاسخ می‌دهد و پایه‌ای عینی‌تر برای تصمیم‌گیری فراهم می‌کند. چارچوب یکپارچه: مقاله یک چارچوب یکپارچه پیشنهاد می‌دهد که وابستگی‌های متقابل بین شاخص‌های زیست محیطی، اجتماعی، اقتصادی و حکمرانی را در نظر می‌گیرد. با تحلیل چگونگی تأثیر این شاخص‌ها بر یکدیگر، تحقیق درک جامع‌تری از عملکرد پایداری در زنجیره‌های تأمین ارائه می‌دهد (دنگ و همکاران ۲۰۲۴). قابلیت سازگاری با زنجیره‌های تأمین پویا: روش پیشنهادی در مقاله به گونه‌ای طراحی شده است که انعطاف‌پذیر و قابل سازگاری باشد و سازمان‌ها بتوانند شاخص‌های پایداری خود را با توجه به شرایط متغیر بازار و چالش‌های جدید به روز کنند. این قابلیت سازگاری برای حفظ تناسب ارزیابی‌های پایداری در محیط کسب و کار در حال تحول بسیار مهم است (دنگ و

1. Deng et al

تکراری اجرا شد. در هر دور، مجموعه‌ای از شاخص‌های شناسایی شده از ادبیات پژوهش به خبرگان ارائه گردید. خبرگان موظف بودند تا ضمن ارزیابی این شاخص‌ها، آن‌ها را تأیید یا رد کنند. علاوه بر این، از آن‌ها درخواست شد تا شاخص‌های جدید و بومی مرتبط با زنجیره تأمین پایدار در صنعت پتروشیمی ایران را که از دیدگاه آن‌ها اهمیت بیشتری داشتند، معرفی نمایند. این رویکرد، که بر مبنای بازخوردهای مکرر طراحی شده بود، به اصلاح و بهبود فهرست اولیه شاخص‌ها کمک شایانی کرد و در نهایت منجر به شناسایی شاخص‌های خاص و متناسب با شرایط صنعت پتروشیمی ایران شد.

در پایان این مرحله از پژوهش، مجموعه‌ای از ۲۴ شاخص کلیدی شناسایی و تأیید گردید که به عنوان پایه‌ای برای تحلیل‌های بعدی و توسعه چارچوب نهایی زنجیره تأمین پایدار به کار گرفته شد. این شاخص‌ها در چهار بُعد اصلی زنجیره تأمین پایدار دسته بندی شدند. هر یک از این ابعاد شامل شش شاخص کلیدی بود که با مشارکت خبرگان و طی چندین مرحله بازبینی و توافق جمعی تعیین گردید.

رویکرد دلفی به دلیل ماهیت مشارکتی و تأکید بر نظرات تخصصی خبرگان، ابزار مناسبی برای بومی‌سازی شاخص‌ها و تطبیق آن‌ها با شرایط خاص صنعت پتروشیمی ایران محسوب می‌شود. این روش علاوه بر ارزیابی شاخص‌های مطرح در ادبیات، امکان شناسایی شاخص‌های جدید و مهم را که در ادبیات بین‌المللی کمتر به آن‌ها پرداخته شده، فراهم ساخت. بنابراین، فرآیند دلفی نقش مهمی در توسعه چارچوب تحلیلی پژوهش ایفا کرده و به عنوان مرجع معتبر برای بهینه‌سازی زنجیره تأمین پایدار در صنعت پتروشیمی ایران مورد استفاده قرار گرفت.

شامل شاخص‌های استنادی بالا و انتشار در مجلات علمی با ضریب تأثیر قابل توجه بود. لذا مقالاتی که بالاترین کیفیت علمی و ارتباط موضوعی را داشتند، برای این مراحل پژوهش گزینش شدند.

و با استفاده از روش تحلیل محتوای کیفی، شاخص‌های کلیدی زنجیره تأمین پایدار از مقالات منتخب استخراج شد. یافته‌های این تحلیل نشان داد که پایداری در زنجیره تأمین به چهار بُعد اصلی تقسیم می‌شود: شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی، و حکمرانی. هر یک از این ابعاد به عنوان ارکان اساسی پایداری در زنجیره تأمین مطرح هستند و شامل مجموعه‌ای از زیر شاخص‌های دقیق‌تری می‌شوند که به تحلیل و درک بهتر ابعاد مختلف پایداری کمک می‌کنند. در نهایت، روایی و اعتبار شاخص‌های استخراج شده با مقایسه آن‌ها با چارچوب‌ها و مدل‌های نظری موجود در ادبیات زنجیره تأمین پایدار، از طریق روایی محتوایی، تأیید و تضمین شد.

## ۲. مصاحبه با خبرگان صنعت پتروشیمی

پس از جمع‌آوری داده‌های کتابخانه‌ای، در راستای دستیابی به اجماع جمعی پیرامون شاخص‌های کلیدی زنجیره تأمین پایدار، از روش دلفی به عنوان یک تکنیک شناخته شده برای جمع‌آوری نظرات خبرگان استفاده شد. در این پژوهش، ۷ نفر از خبرگان زنجیره تأمین صنعت پتروشیمی از طریق نمونه‌گیری هدفمند و گلوله برفی انتخاب شدند. این افراد به دلیل برخورداری از دانش تخصصی عمیق و تجربه وسیع در حوزه زنجیره تأمین و پایداری انتخاب شدند تا نظرات معتبر و کارشناسی آن‌ها در ارزیابی شاخص‌های مرتبط با زنجیره تأمین پایدار مورد استفاده قرار گیرد. این فرآیند شامل چندین دور پرسشنامه بود که به صورت

## یافته‌ها

خاص مانند پلاستیک‌ها.

شاخص‌های اجتماعی (نیچلسون و همکاران<sup>۴</sup> ۲۰۲۱، دنیز و فیب<sup>۵</sup> ۲۰۲۰، ژو و همکاران<sup>۶</sup> ۲۰۲۲)

**برنامه‌های آموزش و توسعه کارکنان:** ارائه دوره‌های آموزشی برای توسعه مهارت‌های کارکنان و ارتقاء کیفیت کار آن‌ها.

**ایجاد شغل در مناطق محروم:** احداث واحدهای تولیدی در مناطق کمتر توسعه یافته و ایجاد فرصت‌های شغلی برای جامعه محلی.

**برنامه‌های ایمنی و سلامت:** پیاده‌سازی و پایبندی به استانداردهای ایمنی برای حفاظت از سلامت کارکنان و کاهش حوادث کاری.

**توسعه مسئولیت اجتماعی شرکتی:** (CSR) حمایت مالی از پروژه‌های اجتماعی محلی، مانند ساخت مدارس و بیمارستان‌ها.

**ارائه حمایت‌های مالی و بهداشتی به کارکنان:** ارائه بیمه‌های درمانی، وام‌های با بهره کم و کمک‌های رفاهی به کارکنان.

**ترویج تنوع و برابری:** تضمین اینکه تمامی گروه‌های جمعیتی (اعم از زنان، اقلیت‌های نژادی و غیره) فرصت‌های برابر برای استخدام و پیشرفت شغلی دارند

شاخص‌های اقتصادی (بامبرگ و همکاران<sup>۷</sup> ۲۰۱۹، پاوا و همکاران<sup>۸</sup> ۲۰۲۱، پانیگراهی و همکاران<sup>۹</sup> ۲۰۱۹)

**کاهش هزینه‌های انرژی:** پیاده‌سازی فرآیندهای بهینه برای کاهش مصرف انرژی و در نتیجه کاهش هزینه‌های تولید

**بهبود عملکرد لجستیک:** بهینه‌سازی زنجیره حمل و نقل مواد اولیه و محصولات نهایی برای کاهش هزینه‌ها و زمان تحویل

**استفاده از فناوری‌های خودکار:** استفاده از ربات‌ها و سیستم‌های خودکار برای افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های نیروی انسانی.

با بررسی در پیشینه تحقیقات انجام شده در مقالات علمی نوشته شده تا اکنون و با انجام مصاحبه و نظر خواهی از خبرگان صنعت پتروشیمی و زنجیره تامین، شاخص‌های زیر با تاکید بیشتری مورد اتفاق نظر بود و دارای بیشترین تاکید بین محققین و خبرگان بود، لذا با محوریت این شاخص‌ها در ادامه برای کشف رابطه بین چهار بعد پایداری زنجیره تامین، با استفاده از پرسشنامه مقایسات زوجی و نظرات خبرگان جمع‌آوری شد.

شاخص‌های زیست محیطی (دنگ و همکاران<sup>۱</sup> ۲۰۲۴ و توکلی و براکدول<sup>۲</sup> ۲۰۲۰، سایگین و گیلن<sup>۳</sup> ۲۰۲۱)

**بهینه‌سازی مصرف انرژی:** استفاده از تجهیزات کم مصرف و سیستم‌های مدیریت انرژی برای کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی در فرآیندهای پتروشیمی.

**استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر:** بهره‌گیری از انرژی خورشیدی یا بادی برای تأمین بخشی از انرژی مورد نیاز در کارخانه‌های پتروشیمی.

کاهش مصرف آب: استفاده از تکنولوژی‌های بازیافت آب و سیستم‌های مدار بسته برای کاهش مصرف آب در فرآیندهای تولید کنترل آلودگی هوا: نصب سیستم‌های پیشرفته فیلتراسیون و جذب گازهای آلاینده مانند CO<sub>2</sub> و SO<sub>2</sub> به منظور کاهش آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های صنعتی.

**بازیافت پسماندهای شیمیایی:** ایجاد زیرساخت‌هایی برای بازیافت مواد شیمیایی و استفاده مجدد از آن‌ها در فرآیندهای تولیدی.

**استفاده از مواد خام بازیافتی:** جایگزینی مواد اولیه جدید با مواد بازیافتی به خصوص در تولید محصولات پتروشیمی

1. Saygin & Gielen  
6. Zhu et all

2. Tavakoli & Barkdoll  
7. Bamberg et all

3. Saygin & Gielen  
8. Pava et all

4. Nicholson et all  
5. Diniz & Fabbe  
9. Panigrahi et all

مذاکره با تأمین کنندگان برای قیمت بهتر: ایجاد قراردادهای بلند مدت با تأمین کنندگان برای دریافت مواد اولیه با قیمت‌های رقابتی.

**مدیریت موجودی بهینه:** کاهش موجودی مواد اولیه و محصولات نهایی از طریق مدیریت دقیق و پیش بینی تقاضا. سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه: (R&D) سرمایه‌گذاری در نوآوری‌های فناورانه برای کاهش هزینه‌های تولید و ارتقاء محصولات شاخص‌های حکمرانی (آوان<sup>۱</sup> ۲۰۱۹، القاباش و گالیر<sup>۲</sup> ۲۰۲۰، اکبری و مک کالند<sup>۳</sup> ۲۰۲۰) گزارش دهی شفاف: انتشار گزارش‌های دوره‌ای درباره عملکرد زیست محیطی، اجتماعی و مالی شرکت.

**پیروی از استانداردهای بین‌المللی:** پایبندی به استانداردهایی نظیر ISO 14001 (سیستم‌های مدیریت زیست محیطی) و ISO 45001 (سیستم‌های مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی).

رعایت قوانین ملی و بین‌المللی محیط زیست: پایبندی به مقررات مربوط به کنترل آلودگی‌های زیست محیطی و مدیریت پسماند. ایجاد هیأت مدیره مستقل: داشتن یک هیأت مدیره مستقل که تصمیمات استراتژیک شرکت را بررسی و نظارت می‌کند. **شفافیت در زنجیره تأمین:** اطمینان از اینکه تمامی تأمین‌کنندگان مواد اولیه به اصول پایداری و مسئولیت پذیری اجتماعی پایبند هستند.

**کنترل‌های اخلاقی و نظارتی:** ایجاد یک سیستم کنترل داخلی برای جلوگیری از فساد، رشوه خواری و رفتارهای غیر اخلاقی در کسب و کار

پس از تکمیل مرحله شناسایی و تأیید شاخص‌های کلیدی زنجیره تأمین پایدار توسط خبرگان و جمع‌آوری داده‌های مقایسه زوجی، برای اولویت بندی نهایی این شاخص‌ها از تکنیک دیمتل (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) استفاده شد. دیمتل به عنوان یکی از روش‌های محبوب در تصمیم‌گیری چندمعیاره شناخته می‌شود که به طور خاص برای تحلیل و شناسایی روابط علت و معلولی میان معیارها کاربرد دارد. این روش با بررسی تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم معیارها بر یکدیگر، به شناسایی شاخص‌های کلیدی و تعیین وزن نهایی هر یک از آنها کمک می‌کند. در اولین مرحله، ماتریس تأثیرگذاری مستقیم با استفاده از نظرات خبرگان براساس طیف ارائه شده در جدول (۲) تشکیل شد.

جدول ۲. طیف امتیازات در جدول دیمتل

بدون تاثیر	تأثیر بسیار کم	تأثیر کم	تأثیر زیاد	تأثیر بسیار زیاد
۰	۱	۲	۳	۴

پس از تشکیل ماتریس تأثیرگذاری مستقیم، این ماتریس باید نرمال سازی شود. ماتریس نرمال شده در جدول (۳) نشان داده شد در مرحله بعد، ماتریس تأثیرگذاری کلی از ترکیب تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم به دست می‌آید. این ماتریس در جدول

جدول ۳. ماتریس نرمال شده

۱. شاخص‌های زیست محیطی:						
معیارها	کاهش مصرف انرژی و منابع طبیعی	کاهش مصرف پسماندهای شیمیایی	کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (CO <sub>2</sub> ) و دیگر آلاینده‌ها)	استفاده از منابع تجدیدپذیر و انرژی‌های پاک	مدیریت آب و کاهش مصرف آن	استفاده از مواد خام بازیافتی
کاهش مصرف انرژی و منابع طبیعی	۰,۰۰	۰,۱۸	۰,۱۱	۰,۱۸	۰,۱۸	۰,۲۷

۰,۱۸	۰,۱۴	۰,۲۳	۰,۱۶	۰,۰۰	۰,۲۳	بازیافت پسماندهای شیمیایی
۰,۲۳	۰,۱۶	۰,۲۰	۰,۰۰	۰,۱۶	۰,۱۴	کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (CO <sub>2</sub> ) و دیگر آلاینده‌ها)
۰,۱۴	۰,۲۳	۰,۰۰	۰,۲۳	۰,۱۶	۰,۲۵	استفاده از منابع تجدیدپذیر و انرژی‌های پاک
۰,۲۰	۰,۰۰	۰,۲۰	۰,۱۱	۰,۲۳	۰,۲۳	مدیریت آب و کاهش مصرف آن
۰,۰۰	۰,۱۴	۰,۱۸	۰,۲۳	۰,۲۰	۰,۲۰	استفاده از مواد خام بازیافتی
<b>۲. شاخص‌های اقتصادی:</b>						
سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه (D&R)	مدیریت موجودی بهینه	مذاکره با تأمین‌کنندگان برای قیمت بهتر	استفاده از فناوری‌های خودکار	بهبود عملکرد لجستیکی	کاهش هزینه‌های انرژی	
۰,۰۹	۰,۱۹	۰,۱۲	۰,۲۱	۰,۲۸	۰,۰۰	کاهش هزینه‌های انرژی
۰,۲۱	۰,۱۹	۰,۱۲	۰,۲۶	۰,۰۰	۰,۲۳	بهبود عملکرد لجستیکی
۰,۲۳	۰,۱۲	۰,۱۶	۰,۰۰	۰,۲۱	۰,۱۹	استفاده از فناوری‌های خودکار
۰,۱۶	۰,۱۹	۰,۰۰	۰,۱۴	۰,۰۹	۰,۱۴	مذاکره با تأمین‌کنندگان برای قیمت بهتر
۰,۱۴	۰,۰۰	۰,۱۴	۰,۲۳	۰,۱۶	۰,۱۲	مدیریت موجودی بهینه
۰,۰۰	۰,۱۶	۰,۱۶	۰,۲۳	۰,۲۶	۰,۱۹	سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه (D&R)
<b>۳. شاخص‌های اجتماعی:</b>						
ترویج تنوع و برابری جنسیتی	توسعه مسئولیت اجتماعی شرکتی (CSR)	برنامه‌های ایمنی و سلامت	ایجاد شغل در مناطق محروم	ارائه حمایت‌های مالی و بهداشتی به کارکنان	برنامه‌های آموزش و توسعه کارکنان	
۰,۱۵	۰,۲۱	۰,۲۱	۰,۱۷	۰,۱۳	۰,۰۰	برنامه‌های آموزش و توسعه کارکنان
۰,۲۱	۰,۱۹	۰,۲۱	۰,۱۷	۰,۰۰	۰,۲۱	ارائه حمایت‌های مالی و بهداشتی به کارکنان

۰,۱۳	۰,۱۹	۰,۲۱	۰,۰۰	۰,۱۳	۰,۱۳	ایجاد شغل در مناطق محروم
۰,۱۳	۰,۲۱	۰,۰۰	۰,۱۲	۰,۱۹	۰,۱۹	برنامه‌های ایمنی و سلامت
۰,۱۹	۰,۰۰	۰,۱۵	۰,۱۷	۰,۱۹	۰,۲۱	توسعه مسئولیت اجتماعی شرکتی (CSR)
۰,۰۰	۰,۲۱	۰,۱۹	۰,۱۰	۰,۱۳	۰,۲۱	ترویج تنوع و برابری جنسیتی
<b>۳. شاخص‌های حکمرانی:</b>						
کنترل‌های اخلاقی و نظارتی	شفافیت در زنجیره تأمین	ایجاد هیأت مدیره مستقل	رعایت قوانین ملی و بین‌المللی محیط‌زیست	پیروی از استانداردهای بین‌المللی	گزارش دهی شفاف	
۰,۲۱	۰,۲۳	۰,۱۹	۰,۱۴	۰,۲۳	۰,۰۰	گزارش دهی شفاف
۰,۱۲	۰,۱۶	۰,۱۹	۰,۲۴	۰,۰۰	۰,۲۶	پیروی از استانداردهای بین‌المللی
۰,۲۳	۰,۲۳	۰,۱۶	۰,۰۰	۰,۲۱	۰,۱۶	رعایت قوانین ملی و بین‌المللی محیط‌زیست
۰,۲۳	۰,۲۱	۰,۰۰	۰,۱۴	۰,۱۴	۰,۲۳	ایجاد هیأت مدیره مستقل
۰,۱۶	۰,۰۰	۰,۲۱	۰,۱۴	۰,۱۹	۰,۱۹	شفافیت در زنجیره تأمین
۰,۰۰	۰,۱۹	۰,۱۴	۰,۱۹	۰,۲۱	۰,۲۱	کنترل‌های اخلاقی و نظارتی

(۴) نشان داده شده است. تاثیرپذیری اولویت بندی می‌شوند که در جدول (۵) نتایج آن

در ادامه هر شاخص براساس دو معیار تاثیرگذاری و نشان داده شده است.

جدول ۴. ماتریس T

<b>۱. شاخص‌های زیست محیطی:</b>						
استفاده از مواد خام بازیافتی	مدیریت آب و کاهش مصرف آن	استفاده از منابع تجدیدپذیر و انرژی‌های پاک	کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (CO <sub>2</sub> ) و دیگر (آلاینده‌ها)	بازیافت پسماندهای شیمیایی	کاهش مصرف انرژی و منابع طبیعی	معیارها
۰,۲۷-	۰,۱۸-	۰,۱۸-	۰,۱۱-	۰,۱۸-	۱,۰۰	کاهش مصرف انرژی و منابع طبیعی
۰,۱۸-	۰,۱۴-	۰,۲۳-	۰,۱۶-	۱,۰۰	۰,۲۳-	بازیافت پسماندهای شیمیایی

کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (CO <sub>2</sub> ) و دیگر آلاینده‌ها)	۰,۱۴-	۰,۱۶-	۱,۰۰	۰,۲۰-	۰,۱۶-	۰,۲۳-
استفاده از منابع تجدیدپذیر و انرژی‌های پاک	۰,۲۵-	۰,۱۶-	۰,۲۳-	۱,۰۰	۰,۲۳-	۰,۱۴-
مدیریت آب و کاهش مصرف آن	۰,۲۳-	۰,۲۳-	۰,۱۱-	۰,۲۰-	۱,۰۰	۰,۲۰-
استفاده از مواد خام بازیافتی	۰,۲۰-	۰,۲۰-	۰,۲۳-	۰,۱۸-	۱,۰۰	۰,۱۴-
<b>۲. شاخص‌های اقتصادی:</b>						
کاهش هزینه‌های انرژی	۱,۰۰	۰,۲۸-	۰,۲۱-	۰,۱۲-	۰,۱۹-	۰,۰۹-
بهبود عملکرد لجستیکی	۰,۲۳-	۱,۰۰	۰,۲۶-	۰,۱۲-	۰,۱۹-	۰,۲۱-
استفاده از فناوری‌های خودکار	۰,۱۹-	۰,۲۱-	۱,۰۰	۰,۱۶-	۰,۱۲-	۰,۲۳-
مذاکره با تأمین‌کنندگان برای قیمت بهتر	۰,۱۴-	۰,۰۹-	۰,۱۴-	۱,۰۰	۰,۱۹-	۰,۱۶-
مدیریت موجودی بهینه	۰,۱۲-	۰,۱۶-	۰,۲۳-	۰,۱۴-	۱,۰۰	۰,۱۴-
سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه (D&R)	۰,۱۹-	۰,۲۶-	۰,۲۳-	۰,۱۶-	۱,۰۰	۰,۱۶-
<b>۳. شاخص‌های اجتماعی:</b>						
برنامه‌های آموزش و توسعه کارکنان	۱,۰۰	۰,۱۳-	۰,۱۷-	۰,۲۱-	۰,۲۱-	۰,۱۵-
ارائه حمایت‌های مالی و بهداشتی به کارکنان	۰,۲۱-	۱,۰۰	۰,۱۷-	۰,۲۱-	۰,۱۹-	۰,۲۱-

۰,۱۳-	۰,۱۹-	۰,۲۱-	۱,۰۰	۰,۱۳-	۰,۱۳-	ایجاد شغل در مناطق محروم
۰,۱۳-	۰,۲۱-	۱,۰۰	۰,۱۲-	۰,۱۹-	۰,۱۹-	برنامه‌های ایمنی و سلامت
۰,۱۹-	۱,۰۰	۰,۱۵-	۰,۱۷-	۰,۱۹-	۰,۲۱-	توسعه مسئولیت اجتماعی شرکتی (CSR)
۱,۰۰	۰,۲۱-	۰,۱۹-	۰,۱۰-	۰,۱۳-	۰,۲۱-	ترویج تنوع و برابری جنسیتی
<b>۴. شاخص‌های حکمرانی:</b>						
کنترل‌های اخلاقی و نظارتی	شفافیت در زنجیره تأمین	ایجاد هیأت مدیره مستقل	رعایت قوانین ملی و بین‌المللی محیط زیست	پیروی از استانداردهای بین‌المللی	گزارش دهی شفاف	
۰,۲۱-	۰,۲۳-	۰,۱۹-	۰,۱۴-	۰,۲۳-	۱,۰۰	گزارش دهی شفاف
۰,۱۲-	۰,۱۶-	۰,۱۹-	۰,۲۴-	۱,۰۰	۰,۲۶-	پیروی از استانداردهای بین‌المللی
۰,۲۳-	۰,۲۳-	۰,۱۶-	۱,۰۰	۰,۲۱-	۰,۱۶-	رعایت قوانین ملی و بین‌المللی محیط زیست
۰,۲۳-	۰,۲۱-	۱,۰۰	۰,۱۴-	۰,۱۴-	۰,۲۳-	ایجاد هیأت مدیره مستقل
۰,۱۶-	۱,۰۰	۰,۲۱-	۰,۱۴-	۰,۱۹-	۰,۱۹-	شفافیت در زنجیره تأمین
۱,۰۰	۰,۱۹-	۰,۱۴-	۰,۱۹-	۰,۲۱-	۰,۲۱-	کنترل‌های اخلاقی و نظارتی

می‌توان به کمک یک نمودار علت و معلولی روابط میان شاخص‌ها را

در انتها پس از محاسبه مجموع تأثیرگذاری‌ها و تأثیر پذیری‌ها، تحلیل کرد. در این نمودار، محور افقی بیانگر مجموع تأثیرگذاری و

جدول ۵. جدول اولویت J و R

۱. شاخص‌های زیست‌محیطی:				
J RANK	J	R RANK	R	معیارها
۱	۱۹,۷۴	۴	۱۷,۹۰	کاهش مصرف انرژی و منابع طبیعی
۴	۱۷,۸۲	۵	۱۷,۸۷	بازیافت پسماندهای شیمیایی
۵	۱۶,۴۶	۶	۱۷,۱۳	کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (CO <sub>2</sub> و دیگر آلاینده‌ها)
۳	۱۸,۸۷	۱	۱۸,۹۲	استفاده از منابع تجدیدپذیر و انرژی‌های پاک

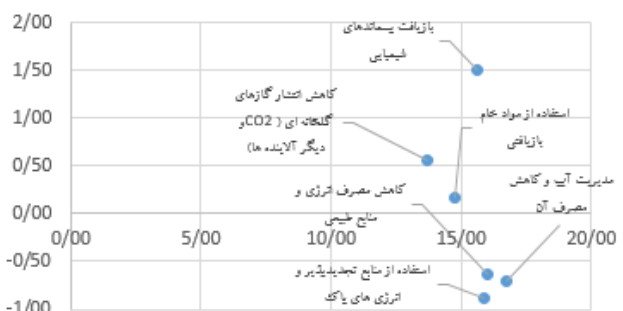
۶	۱۶,۴۰	۲	۱۸,۶۴	مدیریت آب و کاهش مصرف آن
۲	۱۹,۳۱	۳	۱۸,۱۵	استفاده از مواد خام بازیافتی
۱. شاخص‌های زیست‌محیطی:				
J RANK	J	R RANK	R	معیارها
۳	۸,۰۸	۴	۸,۲۳	کاهش هزینه‌های انرژی
۲	۹,۱۷	۱	۹,۱۶	بهبود عملکرد لجستیکی
۱	۹,۶۶	۳	۸,۴۵	استفاده از فناوری‌های خودکار
۶	۶,۶۴	۶	۶,۷۷	مذاکره با تأمین‌کنندگان برای قیمت بهتر
۵	۷,۶۹	۵	۷,۴۲	مدیریت موجودی بهینه
۴	۷,۹۱	۲	۹,۱۵	سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه (D&R)
۱. شاخص‌های زیست‌محیطی:				
J RANK	J	R RANK	R	معیارها
۳	۸,۳۴	۳	۷,۷۰	برنامه‌های آموزش و توسعه کارکنان
۵	۷,۰۷	۱	۸,۵۷	ارائه حمایت‌های مالی و بهداشتی به کارکنان
۶	۶,۵۷	۶	۷,۱۳	ایجاد شغل در مناطق محروم
۲	۸,۳۷	۴	۷,۵۰	برنامه‌های ایمنی و سلامت
۱	۸,۷۲	۲	۸,۰۲	توسعه مسئولیت اجتماعی شرکتی (CSR)
۴	۷,۲۹	۵	۷,۴۵	ترویج تنوع و برابری جنسیتی
۱. شاخص‌های زیست‌محیطی:				
J RANK	J	R RANK	R	معیارها
۱	۲۲,۸۲	۲	۲۱,۸۶	گزارش‌دهی شفاف
۳	۲۱,۵۸	۳	۲۱,۴۳	پیروی از استانداردهای بین‌المللی
۶	۱۹,۰۸	۱	۲۱,۸۷	رعایت قوانین ملی و بین‌المللی محیط زیست
۵	۱۹,۸۵	۴	۲۱,۰۲	ایجاد هیأت مدیره مستقل
۲	۲۲,۳۳	۶	۱۹,۷۵	شفافیت در زنجیره تأمین
۴	۲۰,۹۳	۵	۲۰,۶۷	کنترل‌های اخلاقی و نظارتی

مقادیر مثبت‌تری در این محور دارند، به عنوان عوامل علی (تأثیرگذار) در نظر گرفته می‌شوند و شاخص‌هایی که مقادیر منفی‌تری دارند، به عنوان عوامل معلولی (تأثیرپذیر) شناسایی می‌شوند.

تأثیر پذیری هر شاخص است (R+J) که نشان‌دهنده میزان اهمیت کلی شاخص در سیستم است. محور عمودی نیز بیانگر تفاوت تأثیرگذاری و تأثیر پذیری (R-I) است که تعیین می‌کند هر شاخص در سیستم به عنوان علت یا معلول عمل می‌کند. شاخص‌هایی که

پتروشیمی ارائه شد. نتایج نشان داد که در بخش زیست‌محیطی، کاهش مصرف انرژی و استفاده از منابع تجدیدپذیر بیشترین تأثیرگذاری را داشته و مدیریت آب و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نقش کلیدی در بهبود عملکرد پایدار ایفا می‌کنند. در بخش اقتصادی، بهبود عملکرد لجستیکی و بهره‌گیری از فناوری‌های خودکار به‌عنوان اولویت‌های اصلی برای افزایش بهره‌وری شناسایی شدند و سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه، محرکی برای نوآوری و ارتقای رقابت‌پذیری به شمار می‌رود. در بخش اجتماعی، توسعه مسئولیت اجتماعی شرکتی (CSR) و برنامه‌های ایمنی و سلامت کارکنان، تأثیر بسزایی بر جنبه‌های انسانی زنجیره تأمین داشتند و ترویج تنوع و برابری جنسیتی نیز به‌عنوان یک اولویت مهم اجتماعی شناخته شد. در بخش حکمرانی، گزارش‌دهی شفاف، رعایت استانداردهای بین‌المللی، شفافیت در زنجیره تأمین و کنترل‌های اخلاقی و نظارتی به‌عنوان عوامل کلیدی در ارتقای حکمرانی پایدار مطرح شدند. یکپارچه‌سازی این شاخص‌ها در قالب رویکردی سیستماتیک، صنایع پتروشیمی را قادر می‌سازد تا ضمن ارتقای بهره‌وری اقتصادی، به مسئولیت‌های اجتماعی و زیست‌محیطی خود عمل کرده و در محیطی پویا و رقابتی، توانایی سازگاری با تغییرات را داشته باشند. همچنین، اولویت‌بندی دقیق این شاخص‌ها بر اساس تأثیرگذاری و تأثیرپذیری آن‌ها به صنایع کمک می‌کند تصمیمات بهینه‌تری برای بهبود عملکرد پایدار اتخاذ کنند. مقایسه نتایج این تحقیق با تحقیقات دیگر نشان می‌دهد که نتایج حاصل از پژوهش حاضر در زمینه مدیریت پایدار زنجیره تأمین، همخوانی قابل توجهی با مطالعات پیشین دارد. برای مثال، پژوهش اکبری و مک کلند (۲۰۲۰) به اهمیت مسئولیت اجتماعی شرکتی در تقویت پایداری زنجیره تأمین اشاره کرده است که این موضوع در پژوهش حاضر نیز با تأکید بر نقش CSR و تأثیر آن بر جنبه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی مشاهده می‌شود. علاوه بر این،

شاخص اجتماعی



شاخص حکمرانی



نمودار ۱. نمودار دیاگرام روابط علت و معلولی شاخص‌ها

با استفاده از محاسبات فوق، اولویت نهایی شاخص‌ها تعیین شد. شاخص‌هایی که بالاترین مقادیر تأثیرگذاری را داشتند، به‌عنوان شاخص‌های کلیدی و تأثیرگذار در زنجیره تأمین پایدار شناسایی شدند. نتایج این تحلیل‌ها به روشنی نشان داد که کدام شاخص‌ها بیشترین تأثیر را بر بهبود و پایداری زنجیره تأمین در صنعت پتروشیمی دارند و باید به‌عنوان شاخص‌های راهبردی مورد توجه قرار گیرند. تحلیل نتایج دیمتال نشان داد که برخی از شاخص‌ها نه تنها تأثیر بسزایی بر سایر شاخص‌ها دارند، بلکه به صورت علی و فعال در زنجیره تأمین پایدار نقش آفرینی می‌کنند.

### بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با استفاده از تکنیک دیمتال و تحلیل شاخص‌های زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی و حکمرانی، چارچوبی جامع برای ارزیابی و اولویت‌بندی پایداری زنجیره تأمین در صنعت

۱. سرمایه‌گذاری بیشتر در تحقیق و توسعه فناوری‌های سازگار با محیط‌زیست برای کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای

۲. طراحی و پیاده‌سازی برنامه‌های جامع مسئولیت اجتماعی شرکتی (CSR) با تأکید بر ارتقای سلامت و ایمنی کارکنان و جامعه

۳. تقویت شفافیت و گزارش‌دهی در زنجیره تأمین با استفاده از فناوری‌های دیجیتال و پایش مداوم عملکرد.

۴. گسترش همکاری با ذینفعان مختلف از جمله دولت، سازمان‌های غیرانتفاعی و جوامع محلی برای توسعه راهکارهای نوآورانه.

۵. توجه به آموزش و توانمندسازی نیروی انسانی برای سازگاری با تغییرات فناورانه و اجتماعی.

این تحقیق با وجود نتایج ارزشمند، با محدودیت‌هایی نیز مواجه بوده است. از جمله محدودیت‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. تمرکز بر صنعت پتروشیمی و امکان تعمیم‌پذیری محدود به سایر صنایع.

۲. استفاده از روش دیمتل که ممکن است به تحلیل عمیق‌تر برخی شاخص‌ها نیاز داشته باشد.

۳. محدودیت در دسترسی به داده‌های واقعی و به‌روز برای بررسی دقیق‌تر برخی جنبه‌های عملیاتی.

پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی، از روش‌های ترکیبی یا چندمعیاره برای تحلیل جامع‌تر استفاده شود و مطالعات مشابه در صنایع دیگر انجام گیرد تا نتایج تعمیم‌پذیرتر شوند. علاوه بر این، بهره‌گیری از داده‌های واقعی‌تر و به‌روزتر می‌تواند دقت و اعتبار نتایج را افزایش دهد.

تحقیق الغباشه و گالیر (۲۰۲۰) بر نقش سرمایه اجتماعی در بهبود عملکرد اجتماعی تأمین‌کنندگان تمرکز داشته است که مشابه نتایج این پژوهش، بر اهمیت تعاملات اجتماعی و شفافیت در زنجیره تأمین تأکید دارد. در زمینه شاخص‌های زیست‌محیطی، مطالعه نیکلسون و همکاران (۲۰۲۱) به تحلیل مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید پلاستیک پرداخته است که با تأکید این تحقیق بر کاهش مصرف انرژی و استفاده از فناوری‌های نوین برای بهبود عملکرد زیست‌محیطی همسو است. همچنین، پژوهش ژو و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی ارتباط بین تحلیل داده‌های کلان، مدیریت پایدار زنجیره تأمین و عملکرد سازمانی پرداخته است که مشابه رویکرد پژوهش حاضر بر اهمیت تحلیل داده‌ها در بهبود فرآیندهای پایدار تأکید دارد. از سوی دیگر، مطالعه سیگین و گیلن (۲۰۲۱) به مسیرهای کاهش انتشار در صنعت پتروشیمی اشاره دارد که با رویکرد این تحقیق در شناسایی شاخص‌های پایداری زیست‌محیطی در صنایع مشابه تطابق دارد. با این وجود، برخی تفاوت‌ها نیز دیده می‌شود. به عنوان مثال، پژوهش گوویندان و حسنگیچ (۲۰۲۱) تمرکز بیشتری بر اقتصاد دایره‌ای و مدیریت ضایعات داشته است، در حالی که این جنبه در تحقیق حاضر به صورت محدود مورد بحث قرار گرفته است. همچنین، تحقیق دنگ و همکاران (۲۰۲۳) به شاخص‌های ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین پرداخته و از روش‌های خاصی برای ارزیابی استفاده کرده است که می‌تواند به عنوان یک رویکرد مکمل برای گسترش یافته‌های پژوهش حاضر به کار رود. در مجموع، این مقایسه نشان می‌دهد که تحقیق حاضر با مطالعات قبلی در بسیاری از جنبه‌ها هم‌خوانی دارد و در عین حال با تمرکز ویژه بر صنعت پتروشیمی و چالش‌های خاص آن، دیدگاه‌های جدیدی را به ادبیات موجود اضافه می‌کند. براساس یافته‌های پژوهش، پیشنهاد می‌شود صنایع پتروشیمی اقدامات زیر را در اولویت قرار دهند:

## منابع

۱. سهرابی، طهمورث، اعتماد، محسن و فتحی، محمد رضا. (۱۳۹۶). مدل سازی ریاضی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته سبز با در نظر گرفتن ریسک تامین: مطالعه موردی. مجله مدل سازی پیشرفته ریاضی، ۷(۲)، ۱۰۳-۱۲۲. doi: ۱۰.۲۲۰۵۵/jamm/۱۰،۲۲۰۵۵. ۲۰۱۸، ۱۸۳۵۴، ۱۳۰۳
۲. فتحی، محمدرضا، کریمی زارچی، محمد و صفری زارچ، مهدی. (۱۳۹۸). ارائه ی چارچوبی برای شناسایی و اولویت بندی شاخص های عملکردی زنجیره ی تأمین پایدار (مطالعه ی موردی: شرکت یزد تایر). صنعت لاستیک ایران، ۲۳(۹۴)، ۲۷-۳۷.
۳. فتحی، محمدرضا، نصراللهی، مهدی و زمانیان، علی. (۱۳۹۸). مدل سازی ریاضی شبکه زنجیره تأمین پایدار در وضعیت عدم قطعیت و حل آن با استفاده از الگوریتم های فراابتکاری. مدیریت صنعتی، ۱۱(۴)، ۶۲۱-۶۵۲. doi: ۱۰.۲۲۰۵۹/imj/۱۰،۲۲۰۵۹. ۲۰۱۹، ۲۸۰۳۹۳، ۱۰۰۷۵۸۸
4. Akbari, M., & McClelland, R. (2020). Corporate social responsibility and corporate citizenship in sustainable supply chain: A structured literature review. *Benchmarking: An International Journal*, 27(10), 2601–2624. <https://doi.org/10.1108/bij-11-2019-0509>
5. Alghababsheh, M., & Gallear, D. (2020). Socially sustainable supply chain management and suppliers' social performance: The role of social capital. *Journal of Business Ethics*, 173, 855–875. <https://doi.org/10.1007/s10551-020-04525-1>
6. Amiri, A., & Mirabi, V. (2024). Application of Meta-Synthesis Technique for Safety, Health and Environment (SHE) Management. *Journal of Technology in Entrepreneurship and Strategic Management*, 3(2), 13–28.
7. Awan, U. (2019). Impact of social supply chain practices on social sustainability performance in manufacturing firms. *International Journal of Innovation and Sustainable Development*, 13(2), 217–233. <https://doi.org/10.1504/IJISD.2019.10019789>
8. Bamberg, E., Tanner, G., Baur, C., & Gude, M. (2019). Workplace health promotion inspired by corporate social responsibility: Interactions within supply chains and networks. *Management Review*, 30(2), 213–231. <https://doi.org/10.5771/0935-9915-2019-2-3-213>
9. Burch, S., McNeill, H., & Lockyer, L. (2023). Governance and sustainable supply chains: A review. *Journal of Strategic Management*, 7(3), 289–303.
10. Deng, Q., Huang, X., Zou, J., & He, Y. (2023). Screening of sustainable supply chain performance evaluation indicators based on the ill-conditioned index cycle method. *PLOS ONE*, 18(10), e0293038. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293038>
11. Diniz, G. L., & Fabbe-Costes, L. R. (2020). The role of formalization in the insertion of social indicators in the supply chain of the popular garment sector. *Gestão & Produção*, 27(4). <https://doi.org/10.1590/0104-530x4708-20>
12. Govindan, K., & Hasanagic, M. (2021). A systematic review on drivers, barriers, and practices towards

- circular economy: Transition for sustainability. *Business Strategy and the Environment*, 30(8), 3616-3637. <https://doi.org/10.1002/bse.2834>
13. Jaderi, H. (2012). Identification of sustainability indicators for oil and petrochemical industries development in southwest coast of Iran. *Industrial Management Journal*, 5(2), 123-134.
  14. Moradinasab, N., & Fleming, C. (2019). A dynamic sustainable competitive petroleum supply chain model. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1907.11789>
  15. Nicholson, S. R., Rorrer, N. A., & Carpenter, A. C. (2021). Manufacturing energy and greenhouse gas emissions associated with plastics consumption. *Joule*, 5(3), 673-693. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.12.027>
  16. Okay, N. C., Sencer, A., & Taskin, N. (2024). Quantitative indicators for environmental and social sustainability performance assessment of the supply chain. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05210-3>
  17. Panigrahi, S., Bahinipati, B., & Jain, V. (2019a). Sustainable supply chain management. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 30(5), 1001-1022. <https://doi.org/10.1108/meq-01-2018-0003>
  18. Panigrahi, S., Bahinipati, B., & Jain, V. (2019b). Sustainable supply chain management. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 30(1), 1-20. <https://doi.org/10.1108/meq-01-2018-0003>
  19. Pava, M., Vidal-Holguín, C., Manotas-Duque, D., & Bravo-Bastidas, J. (2021). Sustainable supply chain design considering indicators of value creation. *Computers & Industrial Engineering*, 157, 107294. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107294>
  20. Sarkis, J., Zhu, Q., & Lai, K. H. (2020). Supply chain sustainability: Learning from the COVID-19 pandemic. *International Journal of Operations & Production Management*, 40(6), 1-16. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2020-0568>
  21. Saygin, D., & Gielen, D. (2021). Zero-emission pathway for the global chemical and petrochemical sector. *Energies*, 14(13), 3772. <https://doi.org/10.3390/en14133772>
  22. Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1699-1710. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020>
  23. Tavakoli, H., & Barkdoll, B. D. (2020). Sustainability-based optimization algorithm. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17, 1537-1550. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02535-9>
  24. Van Hoek, R. (2020). Research opportunities for a more resilient post-COVID-19 supply chain—closing the gap between research findings and industry practice. *International Journal of Operations & Production*

Management, 40(4), 341-355. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-03-2020-0165>

25. Velte, P. (2023). Sustainable board governance and sustainable supply chain reporting: European evidence. *Journal of Strategic Management*, 17(2), 222–243. <https://doi.org/10.1108/JSMA-07-2023-0189P>
26. Vijayalakshmi, B. S. (2016). Development of sustainable production indicators using the analytical hierarchy process for the petrochemical industry in Malaysia (Master's thesis). University of Malaya.
27. Xu, Y., Wei, W., Zhang, X., Lin, Q., Guo, H., & Gao, W. (2023). Research on the comprehensive impact of ESG indicators on supply chain sustainability, economic growth, and policy making. *Journal of Supply Chain Management*, 10(2), 1-15. <https://doi.org/10.54097/10a2tn89>
28. Zhu, C., Du, J., Shahzad, F., & Wattoo, M. U. (2022). Environment sustainability is a corporate social responsibility: Measuring the nexus between sustainable supply chain management, big data analytics capabilities, and organizational performance. *Sustainability*, 14(6), 3379. <https://doi.org/10.3390/su14063379>

***IRM***

# M Modeling Sustainability Indicators of the Petrochemical Supply Chain and Determining Priorities

Masoud Raofi Rad <sup>1</sup>, Mohammad Reza Fathi\*<sup>2</sup>

1. Master's student in Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Farabi Colleges, University of Tehran, Qom, Iran

2. Associate Professor, Faculty of Management and Accounting, Farabi Colleges, University of Tehran, Qom, Iran

\*Corresponding author Email: reza.fathi@ut.ac.ir

## Abstract

This study aims to model and evaluate the sustainability indicators of the petrochemical supply chain. Initially, primary data were collected through a review of scientific resources and interviews with experts in the field, identifying key sustainability indicators. These indicators were categorized into four main dimensions: environmental (e.g., reducing energy consumption and controlling greenhouse gas emissions), social (including enhancing corporate social responsibility and improving employee safety and health), economic (e.g., cost optimization and productivity enhancement), and governance (such as transparency in reporting and adherence to international standards). A systemic approach was employed to analyze the relationships between these indicators and to determine their importance and influence, enabling the identification of both direct and indirect connections among factors. The results revealed that indicators like reducing energy consumption and utilizing renewable resources in the environmental dimension have the highest impact on other factors. Additionally, factors such as transparency in reporting and compliance with international standards within the governance dimension play a critical role in enhancing supply chain sustainability. The study demonstrated that integrating environmental, economic, social, and governance dimensions into a comprehensive framework can support the evaluation and improvement of supply chain sustainability. Such a framework enables organizations to achieve economic goals while fulfilling environmental and social commitments. Furthermore, the flexibility of this framework allows adaptation to market changes and emerging challenges. The applied approach, by clarifying the connections among indicators, assists petrochemical industries in making more effective decisions to enhance their sustainable performance.

**Keywords:** Sustainable supply chain, petrochemical industry, environmental indicators, economic indicators, social indicators, sustainability governance.