

اولویت‌بندی شاخص‌های زنجیره‌تأمین در پیوند تحول دیجیتال و پایداری (چارچوبی ترکیبی مبتنی بر روش‌های BWM-VIKOR)

مقاله علمی-پژوهشی

عسل چراغی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
*جواد بهنامیان (نویسنده مسئول)، استاد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Behnamian@basu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۱۰- پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۰۵

صفحه ۱۷۲-۱۵۵

چکیده

این پژوهش با هدف گردآوری، ارزیابی و اولویت‌بندی شاخص‌های تأثیرگذار بر مدیریت زنجیره‌تأمین سبز مبتنی بر اینترنت اشیا انجام شد. در گام نخست، پس از مرور ادبیات و شناسایی پیشران‌ها، چهارده شاخص کلیدی مرتبط با کاربردهای اینترنت اشیا در زنجیره‌تأمین سبز استخراج گردید. برای سنجش اهمیت نسبی هر شاخص، شش معیار ارزیابی تعریف شد و وزن‌دهی معیارها با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره بهترین-بدترین انجام گرفت تا میزان اهمیت هر شاخص در چارچوب معیارهای تعیین شده به‌صورت دقیق تعیین شود. در مرحله بعد، با بهره‌گیری از روش ویکور، شاخص‌ها بر اساس وزن‌های محاسبه‌شده اولویت‌بندی شدند تا ترتیب اثرگذاری آن‌ها بر تحقق اهداف زیست‌محیطی و کارایی زنجیره‌تأمین مشخص گردد. نتایج نشان می‌دهد که طراحی محصولات و فرایندهای مبتنی بر اینترنت اشیا با هدف کاهش مصرف انرژی و کاهش مصرف مواد اولیه به‌عنوان پراهمیت‌ترین شاخص شناخته شده است؛ این شاخص نقش محوری در کاهش اثرات زیست‌محیطی و بهینه‌سازی منابع در طول چرخه عمر محصول دارد. در مقابل، شاخصی که کمترین اهمیت را کسب کرد، کمک به برنامه‌ریزی استراتژیک برای انتخاب تأمین‌کنندگان با استفاده از اینترنت اشیا بود که نشان‌دهنده اولویت بالاتر اقدامات عملیاتی و طراحی محور نسبت به برخی کاربردهای استراتژیک در نمونه‌های مورد بررسی است. تحلیل نتایج همچنین کاربردهای عملیاتی و سیاست‌گذاری مرتبط با هر شاخص را تبیین می‌کند و راهکارهایی برای پیاده‌سازی فناوری‌های اینترنت اشیا در سطوح طراحی، تولید، لجستیک و بازیافت ارائه می‌دهد. این مطالعه با ترکیب روش‌های وزنی و رتبه‌بندی، چارچوبی کاربردی برای مدیران و تصمیم‌گیران فراهم می‌آورد تا سرمایه‌گذاری‌ها و برنامه‌های تحول دیجیتال-زیستی را اولویت‌بندی کنند و گام‌های مؤثرتری در جهت پایداری زنجیره‌تأمین بردارند.

واژه‌های کلیدی: زنجیره‌تأمین، تحول دیجیتال، پایداری، اینترنت اشیا، روش ویکور، روش بهترین-بدترین

۱- مقدمه

زیستگاه‌های طبیعی اشاره کرد. شدت و گستره این پیامدها با افزایش فعالیت‌های تجاری و صنعتی تشدید شده و در نتیجه فشارهای اجتماعی، قانونی و بازار بر شرکت‌ها برای ادغام ملاحظات زیست‌محیطی در عملیات و زنجیره‌تأمین افزایش یافته است (عبدالباسط و همکاران، ۲۰۱۸). در چنین زمینه‌ای،

پیشرفت شتابان فناوری و گسترش صنایع پس از انقلاب صنعتی به‌طور چشمگیری کیفیت زندگی انسان را ارتقا داده است؛ اما این پیشرفت هم‌زمان پیامدهای زیست‌محیطی گسترده‌ای به همراه داشته که از جمله آن‌ها می‌توان به گرمایش زمین، کاهش منابع آب آشامیدنی، ذوب یخ‌های قطبی و تخریب

مدیریت زنجیره تامین سبز به عنوان رویکردی فراگیر مطرح می‌شود که هدف آن وارد کردن ملاحظات زیست‌محیطی در تمامی مراحل چرخه عمر محصول از برنامه‌ریزی تا طراحی، تولید، پشتیبانی و دفع است؛ این رویکرد از ابزارهایی مانند طراحی سبز، تحلیل چرخه عمر، خرید سبز، لجستیک سبز و بازیافت بهره می‌گیرد تا هم اهداف اقتصادی و هم اهداف زیست‌محیطی به‌طور هم‌زمان محقق شوند (بالاجی و همکاران، ۲۰۱۴). با وجود اهمیت این رویکرد، ضرورت تحقیق حاضر از این منظر است که رشد سریع فناوری‌های نوین اطلاعاتی، به‌ویژه اینترنت اشیا، فرصت‌های نوینی برای هوشمندسازی و بهینه‌سازی زنجیره‌تأمین فراهم آورده است؛ اما شناخت نظام‌مند و اولویت‌بندی شاخص‌هایی که بیشترین تأثیر را بر تحقق اهداف زنجیره‌تأمین سبز دارند، هنوز به‌طور کامل شکل نگرفته است (جابور و جابور، ۲۰۱۶). این خلأ علمی و عملی مانع از تخصیص بهینه منابع، طراحی راهبردهای مؤثر و اجرای هدفمند فناوری‌های هوشمند در زنجیره‌تأمین می‌شود و در نتیجه نیازمند پژوهشی است که شاخص‌ها را شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی نماید. مسئله محوری این پژوهش از دل چالش‌های زنجیره‌های تأمین سنتی بیرون می‌آید؛ زنجیره‌هایی که با عدم قطعیت، هزینه‌های بالا، پیچیدگی و آسیب‌پذیری مواجه‌اند و برای غلبه بر این مشکلات نیازمند هوشمندسازی و یکپارچه‌سازی داده‌ها و فرایندها هستند (جایانت و اثر، ۲۰۱۴). اینترنت اشیا به‌عنوان زیرساختی که امکان اتصال نهاده‌های فیزیکی به شبکه‌های اطلاعاتی و تبادل داده در زمان واقعی را فراهم می‌سازد، می‌تواند نقش محوری در بهبود کارایی، شفافیت و پایداری زنجیره‌تأمین ایفا کند (جمشیدی ۱۳۹۶).

با این حال، پرسش کلیدی این است که کدام شاخص‌ها و پیشران‌های مرتبط با اینترنت اشیا بیشترین تأثیر را بر مدیریت زنجیره‌تأمین سبز دارند و چگونه می‌توان این شاخص‌ها را به‌صورت کمی وزن‌دهی و اولویت‌بندی کرد تا راهنمایی روشن و کاربردی برای تصمیم‌گیران فراهم آید؛ پاسخ به این پرسش مستلزم گردآوری شاخص‌ها از ادبیات، تعیین معیارهای ارزیابی و به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای تحلیل و رتبه‌بندی است. اهداف این تحقیق به‌صورت چندوجهی تعریف شده‌اند: نخست گردآوری و طبقه‌بندی شاخص‌ها و پیشران‌های مؤثر بر مدیریت زنجیره‌تأمین سبز که از منظر کاربرد‌های

اینترنت اشیا قابل شناسایی باشند؛ دوم تعیین معیارهای ارزیابی مناسب و وزن‌دهی دقیق این معیارها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره؛ سوم اولویت‌بندی شاخص‌ها بر اساس وزن‌های محاسبه شده تا مؤثرترین شاخص‌ها برای پیاده‌سازی در سطوح طراحی، تولید، لجستیک و بازیافت مشخص شوند؛ و چهارم ارائه پیشنهاد‌های کاربردی و سیاست‌محور برای مدیران و ذی‌نفعان جهت به‌کارگیری اینترنت اشیا در راستای اهداف پایداری و کاهش اثرات زیست‌محیطی. این اهداف به‌منظور پاسخ به نیازهای عملی سازمان‌ها برای تخصیص بهینه منابع فناوری و تدوین راهبردهای تحول دیجیتال-زیستی طراحی شده‌اند. از منظر کاربردی، نتایج این پژوهش در چند حوزه قابل استفاده است: در سطح طراحی محصول می‌تواند راهنمای توسعه محصولات و فرایندهای مبتنی بر اینترنت اشیا با هدف کاهش مصرف انرژی و مواد اولیه باشد؛ در سطح تولید و عملیات، شاخص‌های اولویت‌بندی‌شده می‌توانند مبنای انتخاب فناوری‌های حسگر، پایش و کنترل در خطوط تولید و انبارها قرار گیرند تا مصرف منابع بهینه شود؛ در سطح لجستیک و توزیع، بهبود ردیابی و شفافیت زنجیره عرضه از طریق اینترنت اشیا می‌تواند منجر به کاهش هدررفت و انتشار گازهای گلخانه‌ای گردد؛ و در سطح سیاست‌گذاری، نتایج می‌تواند به تدوین استانداردها و مشوق‌های دولتی برای تسریع در پذیرش فناوری‌های سبز کمک کند. علاوه بر این، این پژوهش می‌تواند به شرکت‌ها کمک کند تا سرمایه‌گذاری‌های فناوری خود را بر شاخص‌هایی متمرکز کنند که بیشترین بازده زیست‌محیطی و اقتصادی را به همراه دارند. نوآوری این تحقیق در ترکیب نظام‌مند شاخص‌های مرتبط با اینترنت اشیا و مدیریت زنجیره‌تأمین سبز، به‌کارگیری هم‌زمان روش‌های وزن‌دهی دقیق و معتبر برای معیارها و استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای اولویت‌بندی شاخص‌ها نهفته است؛ ارائه چارچوبی عملیاتی که می‌تواند به‌عنوان راهنمای تصمیم‌گیری برای مدیران و سیاست‌گذاران مورد استفاده قرار گیرد، از دیگر جنبه‌های نوآورانه است. همچنین تمرکز ویژه بر تعیین اهمیت نسبی شاخص‌ها در سطوح مختلف چرخه عمر محصول و ارائه راهکارهای کاربردی برای هر شاخص، این مطالعه را از بسیاری از پژوهش‌های پیشین متمایز می‌سازد. از منظر نظری نیز، این پژوهش تلاش می‌کند پیوند میان ادبیات

اینترنت اشیاء و ادبیات پایداری زنجیره تامین را تقویت کند؛ اینترنت اشیاء به عنوان فناوری‌ای که امکان جمع‌آوری و تحلیل کلان داده‌ها را فراهم می‌سازد، ظرفیت‌های جدیدی برای تحقق اهداف زیست محیطی ایجاد می‌کند (رضایی و همکاران، ۱۳۹۶) و این تحقیق می‌کوشد این ظرفیت‌ها را به صورت شاخص محور و قابل اجرا تبیین نماید.

۲- پیشینه تحقیق

مفهوم "سبز" که یکی از مولفه‌های مهم در مدیریت زنجیره تامین است، می‌تواند به عنوان یک فلسفه سازمانی در نظر گرفته شود. مفهوم مدیریت زنجیره تامین سبز (GSCM) به دلیل مقررات زیست محیطی و فشارهای مصرف کننده بر پایداری، توجه بیشتری را به خود جلب کرده است. GSCM نوعی سبک مدیریتی است که نگرش زیست محیطی را در کلیه عملیات زنجیره تامین از جمله طراحی محصول، انتخاب مواد، فرایند خرید و تولید در سراسر شرکت‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد تا شرکت‌ها را قادر سازد سود بیشتری کسب کنند و با کاهش آثار زیست محیطی، عملکرد محیطی خود را بهبود بخشند. از آنجا که شرکت‌ها باید به ملاحظات زیست محیطی توجه کنند تا بتوانند به بقای خود ادامه دهند، ظهور فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیاء منجر به تغییر در فرایندهای خرید و تولید و ایجاد تحول در روند تصمیم‌گیری در شرکت‌ها شده است (گویندان و همکاران ۲۰۱۵).

مدیریت زنجیره تامین سبز. محرمی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی با توجه به اثراتی که یک زنجیره تامین بر محیط زیست می‌گذارد، زنجیره‌های تامین را به زنجیره‌های تامین سبز و غیرسبز دسته‌بندی کردند. زنجیره‌هایی که سازگاری بالاتری با محیط زیست دارند، «زنجیره تامین سبز» نامیده می‌شوند؛ کالاهای تولیدی این زنجیره‌ها یا مصرف انرژی کمتری دارند یا تولید دی‌اکسید کربن پایین‌تری دارند و آلودگی کمتری ایجاد می‌کنند. زنجیره تامین سبز عبارت است از مجموعه اقدام‌های داخلی و خارجی بنگاه که به بهبود محیط زیست و جلوگیری از آلودگی منجر شود. مسائل زیست محیطی در حال تبدیل شدن به عنصری مهم از وظایف مدیریت هستند و دلایل موجهی وجود دارد که این پیشرفت فراتر از یک روند گذرا است. مدیریت زنجیره تامین سبز تلاش می‌کند با پیاده‌سازی الزامات زیست محیطی در انتخاب

و تأمین مواد اولیه، طراحی محصول، تولید و ساخت، فرایندهای توزیع و انتقال، تحویل به مشتری و خدمات پس از فروش، بهره‌وری مصرف انرژی و منابع و عملکرد کل زنجیره تامین را به حداکثر برساند. رعایت الزامات زیست محیطی در ترکیب با مدیریت زنجیره تامین، موقعیتی برد-برد برای سازمان‌ها فراهم می‌آورد (همایونفر و همکاران ۱۳۹۷). برای بررسی جنبه‌های کاهش انتشار کربن، وانگ و همکاران (۲۰۱۶) تلاش کردند اثرات زیست محیطی انتشار کربن یک زنجیره تامین را کاهش دهند. آن‌ها اثرات قراردادهای مختلف بر قیمت خرده‌فروش و تولیدکننده را بررسی کرده و دو قرارداد—قیمت عمده اولیه و تقسیم هزینه—را در مدل پیاده کردند تا انتشار کربن کاهش یابد. به طور کلی، با ایجاد این دو قرارداد، آن‌ها تلاش کردند بار مسئولیت کاهش کربن را از تولیدکننده کاهش داده و با سازوکارهایی به کل زنجیره تامین منتقل کنند. گائو و همکاران (۲۰۱۸) عملکرد زنجیره تامین سبز را با در نظر گرفتن فرایند حمل و نقل مصرف کننده مورد مطالعه قرار دادند و استراتژی‌هایی را پیاده کردند که هم هزینه کارخانه‌ها و هم هزینه مصرف کننده را کاهش دهد؛ آن‌ها نتیجه گرفتند که با افزایش قوانین و مقررات مربوط به انتشار کربن، ضروری است کارخانه‌ها فعالیت‌های مرتبط با کربن خود را کنترل کنند.

تی‌سنگ و همکاران (۲۰۱۹) در مدل مفهومی خود مؤلفه‌های مدیریت زنجیره تامین سبز را شامل لجستیک معکوس، هم‌زیستی صنعتی، شیوه‌های نوآوری سبز، سیستم‌ها و فناوری اطلاعات سبز، طراحی سبز، مدیریت کربن، همکاری زیست محیطی تأمین کننده، همکاری زیست محیطی مشتری، گواهی‌نامه ایزو ۱۴۰۰۱، مدیریت داخلی، خرید سبز، تولید سبز، بسته‌بندی سبز، لجستیک سبز، برون‌سپاری سبز و انبارداری سبز معرفی کردند. پارکاش و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهش خود برای بررسی تأثیر پیاده‌سازی اقدامات مدیریت زنجیره تامین سبز بر عملکرد شرکت‌ها، مدلی ارائه دادند که چهار اقدام اصلی مدیریت زنجیره تامین سبز را—طراحی سبز، خرید سبز، همکاری زیست محیطی و لجستیک معکوس—شامل می‌شد. کانکایا و سیزن (۲۰۱۸) هشت بعد زنجیره تامین سبز را بر عملکرد اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی (سه بعد پایداری) بررسی کردند؛ ابعاد مورد مطالعه عبارت بودند از خرید سبز، تولید سبز، توزیع سبز، بسته‌بندی سبز، بازاریابی سبز، آموزش

زیست محیطی، مدیریت محیطی داخلی و بازیابی سرمایه گذاری. یافته‌ها نشان می‌دهد به جز خرید سبز، سایر ابعاد حداقل با یکی از ابعاد عملکرد مرتبط هستند.

یونس و همکاران (۲۰۱۹) نیز ابعاد مدیریت زنجیره تامین سبز را طراحی زیست محیطی، خرید سبز، همکاری زیست محیطی و تدارکات معکوس معرفی کردند. رجبی پور میدی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی عوامل مؤثر بر استقرار مدیریت زنجیره تامین سبز را به منظور بهبود عملکرد زیست محیطی و اقتصادی شناسایی کردند؛ نتایج نشان داد استفاده از تجهیزات فیزیکی، ماشین آلات و فناوری سبز در سازمان، بسته بندی سبز، خرید سبز، طراحی سبز، پشتیبانی و حمایت مدیران عملیاتی، میانی و ارشد، استفاده از تولید ناب و تخصیص هزینه لازم برای تحقق برنامه های زیست محیطی از عوامل مؤثر بر پیاده سازی موفق زنجیره تامین سبز هستند. آفرین محمدزاده و حسن زاده (۱۳۹۷) در پژوهش خود عوامل قانونی و مقرراتی، ارتباط و تعامل با ذی نفعان مالی، بهبود سرمایه گذاری، تولید و عملیات سبز، خرید و تأمین سبز، طراحی سبز، مدیریت مصرف انرژی و منابع، مدیریت پسماند و بازیافت، مدیریت محیط داخلی و بیرونی، مدیریت گازهای گلخانه ای، آموزش و پژوهش و فرهنگ سبز، لجستیک معکوس، انبارداری و حمل و نقل و توزیع سبز، فناوری و تکنولوژی سبز را به عنوان عوامل مؤثر بر اجرای موفق مدیریت زنجیره تامین سبز معرفی کردند. برنا و همکاران (۱۳۹۷) نیز در پژوهشی با عنوان «استراتژی ها و سیاست های مدیریت زنجیره تامین سبز در ایران» معیارهای طراحی سبز، خرید سبز، تولید سبز، انبارداری سبز، حمل و نقل سبز و بازیافت سبز را به عنوان معیارهای ارزیابی شرکت ها برای مدیریت زنجیره تامین سبز معرفی کردند.

اینترنت اشیاء. اینترنت اشیاء روش های نوآورانه ای برای پرداختن به جنبه های مختلف حفاظت از محیط زیست، تغییرات اقلیمی، جلوگیری از جنگل زدایی و حفاظت از گونه های در حال انقراض ارائه می دهد. ایده اینترنت اشیاء نخستین بار توسط کوین اشتون مطرح شد. تعاریف متعددی از اینترنت اشیاء وجود دارد، اما در بنیادی ترین سطح می توان آن را شبکه ای از دستگاه ها در تعامل با یکدیگر برای جمع آوری و تبادل داده ها توصیف کرد. این فناوری اتوماسیون را در گستره ای از صنایع فراهم می کند و امکان جمع آوری کلان داده ها را نیز مهیا می سازد. لی و شین

(۲۰۱۹) بر اساس پژوهش بخشیم و همکاران (۱۴۰۰)، اینترنت اشیاء آینده ای را ممکن می سازد که در آن نهاده های فیزیکی با استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات مناسب به هم متصل شده و طبقه ای جدید از برنامه ها و خدمات را ممکن می سازند. به طور کلی اینترنت اشیاء به عنوان «زیرساخت شبکه جهانی پویا» تعریف شده که با قابلیت های خودپیکربندی، براساس استانداردها و قابلیت های همکاری، پروتکل های ارتباطی فیزیکی و مجازی عمل می کند. "چیزها" در اینترنت اشیاء دارای هویت و ویژگی بوده و توانایی استفاده از رابط های هوشمند و یکپارچه سازی به عنوان یک شبکه اطلاعات را دارند (مالیک ۲۰۲۰). این فناوری یکی از جدیدترین انواع تکنولوژی در دنیای اطلاعات محسوب می شود و با توجه به نقش محوری اطلاعات در عصر حاضر، اینترنت اشیاء بر پایه اطلاعات شکل گرفته و آن را به اشیای پیرامون زندگی ما بسط می دهد؛ داشتن اطلاعات به روز و مفید در زمان مناسب می تواند منجر به تولید محصولات و خدماتی شود که زندگی بشر را آسان تر می سازد. در اینترنت اشیاء، فرایند ارسال داده ها به صورت تمام اتوماتیک و بر اساس تنظیمات انجام شده و در زمان های مشخص ارسال می گردد؛ ظهور این پدیده نتیجه توسعه فناوری های بی سیم و سامانه های میکروالکترومکانیکی است. تا به امروز، فناوری هایی مانند حسگر بی سیم، شبکه های حسگر بی سیم (WSN)، بارکد، حسگرهای هوشمند، شناسایی با فرکانس رادیویی (RFID)، ارتباط میدان نزدیک (NFC)، ارتباطات بی سیم کم انرژی و محاسبات ابری در اینترنت اشیاء نقش داشته اند. اینترنت اشیاء نسل بعدی وب را توصیف می کند، جایی که اشیاء فیزیکی از طریق اینترنت قابل دسترسی و شناسایی می شوند؛ بسته به فناوری های مورد استفاده، تعاریف مختلفی از اینترنت اشیاء ارائه شده است، اما اساس آن این است که اشیاء می توانند با شناسه های منحصر به فرد شناسایی شوند و در صورت نیاز داده ها را مبادله و پردازش کنند (حشمتی و ظلم آبادی ۱۳۹۹).

همچنان که در مرور انجام شده مشخص است با وجود پیشرفت های قابل توجه در شناسایی مؤلفه ها و ابعاد مدیریت زنجیره تامین سبز در مطالعات گذشته (همایونفر و همکاران، ۱۳۹۷؛ پارکاش و همکاران، ۲۰۱۶؛ یونس و همکاران، ۲۰۱۹)، مرور ادبیات نشان می دهد که چند خلأ پژوهشی مهم همچنان باقی است. نخست، بسیاری از پژوهش ها به صورت جداگانه به

ابعاد کلی GSCM یا به کاربردهای عمومی فناوری‌ها پرداخته‌اند و کم‌تر به‌طور نظام‌مند نقش مشخص و وزن‌دار فناوری‌های نوظهور مانند اینترنت اشیا در هر شاخص عملیاتی و طراحی‌محور پرداخته‌اند (گویندان و همکاران، ۲۰۱۵؛ گائو و همکاران، ۲۰۱۸). دوم، مطالعات تجربی و مدل‌سازی که وزن نسبی شاخص‌ها را بر اساس معیارهای چندبعدی و با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره تعیین کنند، محدود و پراکنده‌اند؛ به‌ویژه کمبود کارهایی که از ترکیب روش‌های وزن‌دهی دقیق مانند روش بهترین-بدترین (BWM) و روش‌های رتبه‌بندی مقاوم مانند ویکور بهره ببرند، محسوس است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۶؛ تی‌سنگ و همکاران، ۲۰۱۹). سوم، پیوند میان شاخص‌های فنی-عملیاتی اینترنت اشیا (مثلاً RFID، WSN، حسگرها) و پیامدهای زیست‌محیطی و اقتصادی زنجیره‌تأمین به‌صورت کمی و اولویت‌بندی‌شده به‌ندرت مورد آزمون قرار گرفته است (حشمتی و فتحی ظلم‌آبادی، ۱۳۹۹ و مالیک، ۲۰۲۰). در نهایت، مطالعات موجود غالباً به بررسی ابعاد منفرد یا چارچوب‌های نظری اکتفا کرده‌اند و کم‌تر به ارائه چارچوب کاربردی و اولویت‌بندی‌شده‌ای که مدیران بتوانند بر اساس آن سرمایه‌گذاری‌های مبتنی بر اینترنت اشیا را جهت‌دهی کنند، پرداخته‌اند (رجبی‌پور میبدی و همکاران، ۱۴۰۰؛ محمدزاده و حسن‌زاده، ۲۰۱۸). با توجه به خلأهای فوق، پژوهش حاضر ضرورت روشی دارد: اولاً، ترکیب نظام‌مند مرور ادبیات با استخراج چهارده شاخص کلیدی و سپس

وزن‌دهی معیارها با روش BWM، کمبود مطالعات وزن‌دهی دقیق و شفاف را جبران می‌کند و امکان مقایسه کمی میان شاخص‌ها را فراهم می‌آورد؛ ثانیاً، به‌کارگیری روش ویکور برای اولویت‌بندی شاخص‌ها، خلأ مربوط به رتبه‌بندی مقاوم و تصمیم‌محور را پر می‌سازد و به مدیران کمک می‌کند تا اقدامات عملیاتی و طراحی‌محور را بر اساس اهمیت واقعی آن‌ها در تحقق اهداف زیست‌محیطی و کارایی زنجیره اولویت‌بندی کنند (وانگ و همکاران، ۲۰۱۶؛ پارکاش و همکاران، ۲۰۱۶). علاوه بر این، تمرکز ویژه بر کاربردهای اینترنت اشیا و پیوند کمی میان فناوری‌های حسگری/ارتباطی و نتایج زیست‌محیطی-اقتصادی، پاسخ مستقیمی به نیاز به چارچوب‌های کاربردی برای تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاری دیجیتال-زیستی در سازمان‌هاست (حشمتی و فتحی ظلم‌آبادی، ۱۳۹۹؛ لی و شین، ۲۰۱۹).

در مجموع، این مطالعه نه‌تنها شکاف‌های نظری را کاهش می‌دهد بلکه ابزار عملیاتی و سیاست‌محوری در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار می‌دهد تا گام‌های مؤثرتری در جهت پایداری زنجیره‌تأمین بردارند.

۳- روش شناسی تحقیق

یک مسأله تصمیم‌گیری چندمعیاره ممکن است به‌صورت خلاصه در قالب یک ماتریس بیان شود. ماتریس تصمیم D یک ماتریس $m \times n$ است که در آن درایه a_{ij} بیانگر ارزش گزینه i نسبت به شاخص j است.

شاخص گزینه	C_1	C_2	...	C_n
A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
...	...	...	...	...
A_n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nn}

مراحل تحلیل ماتریس تصمیم‌گیری شامل (۱) کمی کردن شاخص‌های غیرکمی، (۲) بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم‌گیری، (۳) مشخص کردن وزن شاخص‌ها، و (۴) اولویت‌بندی گزینه‌ها به وسیله مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر گزینه‌ها است.

کمی کردن شاخص‌های غیرکمی. برای اینکه بتوان محاسبات مربوط به مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه را انجام داد باید شاخص‌های کیفی ماتریس تصمیم به عدد تبدیل شوند. برای این منظور می‌توان از روش‌های مختلفی استفاده کرد که یکی از آنها روش دوقطبی فاصله‌ای است و به شرح جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱. جدول اعداد دو قطبی فاصله‌ای

شاخص کیفی	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
معادل عددی برای شاخص مثبت	۱	۳	۵	۷	۹
معادل عددی برای شاخص منفی	۹	۷	۵	۳	۱

در استفاده از این روش باید به فرض‌های زیر توجه کرد:

(۱) فاصله بین خیلی کم و کم با فاصله بین خیلی زیاد و زیاد یکی است، و (۲) ترکیب ارزش‌ها برای شاخص‌های مختلف امکان‌پذیر است.

بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم‌گیری. با توجه به اینکه شاخص‌های ماتریس تصمیم دارای ابعاد متفاوت هستند، این

(۱)

در رابطه فوق n_{ij} بیانگر درایه بی‌مقیاس شده برای a_{ij} که بیانگر ارزش گزینه i نسبت به شاخص j در ماتریس تصمیم است و m برابر تعداد گزینه‌ها و n هم برابر تعداد شاخص‌ها می‌باشد.

(۲)

برای شاخص‌های مثبت: $n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\max(a_j)}$

برای شاخص‌های منفی: $n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\max(1/a_j)}$ (۳)

۳-۱- ارزیابی اوزان شاخص‌ها

هر مسأله‌ای که فرد تصمیم‌گیرنده با آن مواجه است، ممکن است دارای چندین شاخص باشد. بنابراین، "دانستن اهمیت نسبی شاخص‌ها"، ضرورت دارد. از اینرو به هر شاخص یک وزن داده می‌شود، به صورتی که مجموع اوزان شاخص‌ها، برابر یک باشد. این وزن‌ها، اهمیت نسبی هر شاخص را نسبت به بقیه، برای تصمیم‌گیری مورد نظر نشان می‌دهد. برای ارزیابی اوزان شاخص‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد که برخی از آن‌ها عبارتند از: روش آنتروپی، روش ماتریس مقایسات زوجی و روش بهترین-بدترین (BWM). روش BWM یکی از تکنیک‌های نوین تصمیم‌گیری چند معیاره است که در زمره تصمیم‌گیری چند شاخصه قرار می‌گیرد. در این روش بهترین و

امر مقایسه و ترکیب آن‌ها را دشوار و نشدنی می‌کند. برای رفع این مشکل بایستی شاخص‌ها را بی‌مقیاس کنیم تا همگی در یک فاصله قرار گیرند. برای این منظور می‌توانیم از روش‌های پیشنهاد شده در زیر بخش‌های زیر استفاده کنیم.

بی‌مقیاس سازی. در این روش هر عنصر ماتریس تصمیم بر مجذور مجموع مربعات هر ستون تقسیم می‌شود؛ یعنی:

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}}$$

بی‌مقیاس سازی خطی. در این روش برای شاخص‌های مثبت و منفی به ترتیب از رابطه‌های زیر استفاده می‌کنیم.

بدترین شاخص توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود و مقایسه زوجی بین هر یک از این دو شاخص (بهترین و بدترین) و دیگر شاخص‌ها صورت می‌گیرد؛ سپس یک مسئله حداکثر حداقل برای مشخص کردن وزن شاخص‌های مختلف فرموله و حل می‌شود؛ همچنین در این روش فرمولی برای محاسبه نرخ ناسازگاری به منظور بررسی اعتبار مقایسات در نظر گرفته شده است. ازجمله ویژگی‌های برجسته این روش نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه عبارت است از: (۱) به داده‌های مقایسه‌ای کمتری نیاز دارد، (۲) به مقایسه‌های استوارتر منجر می‌شود بدین معنا که جواب‌های قابل اطمینان تری ارائه می‌دهد.

مراحل روش BWM به شرح ذیل است:

۱- در گام اول ابتدا باید مساله مورد پژوهش مشخص شود و سپس عوامل تاثیرگذار بر روی هدف مساله استخراج می شود. و در نهایت به تایید خبرگان پژوهش برسد. در این گام می توان از روشهایی همچون روش دلفی یا دلفی فازی استفاده کرد زیر هدف این روشها تایید و غربالگری شاخص های پژوهش است.

۲- در این گام ابتدا باید با اهمیت ترین و کم اهمیت ترین معیار از بین تمامی شاخص ها مشخص شود که به آن *best* و *worst* گفته می شود سپس مقایسه زوجی بهترین معیار با دیگر معیارها و دیگر معیارها با بدترین معیار در قالب دو ماتریس تشکیل شود و توسط طیف ۱ تا ۹ ساعتی به آن مقایسات زوجی پاسخ داده شود.

۳- در این گام با استفاده از رابطه زیر مدل بهینه سازی غیر خطی روش BWM را تشکیل می دهیم.

$$\begin{aligned} \min & \xi \\ \text{s.t:} & \\ & \left| \frac{w_b}{w_j} - a_{bj} \right| \leq \xi \quad \forall j \\ & \left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \leq \xi \quad \forall j \\ & \sum_j w_j = 1 \\ & w_j \geq 0 \quad \forall j \end{aligned} \quad (4)$$

در انتها با حل مدل توسط نرم افزارهای بهینه سازی همچون GAMS اوزان بهینه معیارها محاسبه می شوند.

۳-۲- مدل ویکور

مدل های مختلفی برای تصمیم گیری چند شاخصه وجود دارد. یکی از معروف ترین این روشها روش ویکور است که برای حل یک مساله تصمیم گیری با معیارهای نامناسب و واحدهای اندازه گیری مختلف و متعارض است. روش ویکور بر تمرکز بر رتبه بندی و انتخاب از بین یک مجموعه راه کار در مساله ای با داشتن معیارهای مخالف هدف گذاری شده است.

روش ویکور شامل مراحل زیر می باشد.

۱- تشکیل ماتریس تصمیم

۲- بی مقیاس سازی ماتریس تصمیم با استفاده از روش نورم که پیشتر معرفی شد.

۳- تعیین نقطه ایده آل مثبت و ضد ایده آل منفی: در این گام باید ایده آل های مثبت و منفی را مشخص کرد ایده آل مثبت برای معیارهای مثبت برابر با بزرگترین مقدار ستون معیار و ایده آل منفی کوچکترین درایه ستون معیار. برای معیارهای منفی بالعکس. معیارهای مثبت افزایششان باعث سود و معیارهای منفی کاهششان باعث سود می شود.

$$\begin{aligned} v_j^* &= \max_i v_{ij} \\ v_j^- &= \min_i v_{ij} \end{aligned}$$

۴- محاسبه مقادیر سودمندی (S) و تأسف (R) برای هر شاخص: مقدار سودمندی بیانگر فاصله نسبی گزینه i ام از نقطه ایده آل و مقدار تأسف بیانگر حداکثر ناراحتی گزینه i ام از دوری از نقطه ایده آل می باشد و از روابط زیر حاصل می شوند.

$$S_i = \sum_{j=1}^n \frac{v_j^* - v_{ij}}{v_j^* - v_j^-} \quad (5)$$

$$R_i = \max_j \left(\frac{v_j^* - v_{ij}}{v_j^* - v_j^-} \right) \quad (6)$$

۵ - محاسبه شاخص ویکور (Q) برای هر گزینه: شاخص ویکور برای هر گزینه از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$Q_i = V \left[\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} \right] + (1 - V) \left[\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \right] \quad (7)$$

که در آن S و R ها بصورت زیر محاسبه می شود.

$$\begin{aligned} S^* &= \min S_i, S^- = \max S_i \\ R^* &= \min R_i, R^- = \max R_i \end{aligned}$$

۶- مرتب کردن گزینه ها بر اساس S ، Q و R

باشد به شرط آنکه دو شرط زیر برقرار باشد. **شرط اول:** اگر گزینه A_1 و A_2 در میان M گزینه رتبه اول و دوم را داشته باشند آنگاه بایستی رابطه زیر برقرار باشد:

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq \frac{1}{M-1}$$

- توافق خیلی زیاد باشد: $v > 0.5$
- توافق با اکثریت آرا باشد: $v = 0.5$
- توافق اندک باشد: $v < 0.5$
- هر چه v بزرگتر باشد: به نظرات گروهی بیشتر بها داده است.
- هر چه v کوچکتر باشد: به نظرات فردی بیشتر بها داده است.

در گام پایانی از تکنیک ویکور، گزینه‌ها براساس مقادیر Q, R و S در سه گروه از کوچک به بزرگ مرتب می‌شوند. بهترین گزینه آن است که در هر سه مقدار رتبه برتر باشد در غیر اینصورت گزینه برتر گزینه‌ای است که کوچکترین Q را داشته (۷)

شرط دوم: گزینه A_1 باید حداقل در یکی از گروه‌های R و S به عنوان رتبه برتر شناخته شود. اگر شرط نخست برقرار نباشد هر دو گزینه بهترین گزینه خواهند بود. اگر شرط دوم برقرار نباشد گزینه A_1 و A_2 هر دو به عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شوند. نکته پایانی اینکه یکی از بخشهای مهم روش ویکور تعیین مقدار مناسب برای پارامتر v است. این پارامتر با توجه به میزان توافق گروه تصمیم‌گیرنده تعیین می‌گردد و در تعیین آن ملاحظات زیر لحاظ می‌شود.

۴- پیاده‌سازی و تحلیل نتایج

عملکرد زنجیره‌تأمین نیز می‌توان از این شاخص‌ها و معیارها استفاده کرد. با استفاده از شاخص‌های شناسایی شده و با در نظر گیری میزان اهمیت آنها و اولویت آن‌ها می‌توان بهبود قابل ملاحظه‌ای در زنجیره‌تأمین بوجود آورد و به عوامل مختلف تاثیرگذار بر سبز بودن زنجیره تأمین پاسخ مناسبی ارائه کرد. این شاخص‌ها در ۸ گروه زیر دسته‌بندی می‌شوند.

با بررسی و مطالعه پژوهش‌های انجام شده در حوزه اینترنت اشیا و همچنین با مشورت با خبره، شاخص‌ها و معیارهای گردآوری شده درگروه‌های متفاوت بر اساس نقشی که در زنجیره‌تأمین سبز دارند دسته‌بندی شدند. این شاخص‌ها می‌توانند بیشترین تاثیر را در زنجیره‌تأمین سبز داشته و در آن عوامل متفاوت تاثیرگذار بر سبز بودن زنجیره‌تأمین سبز با استفاده از کاربردهای اینترنت اشیا بهینه می‌شود. همچنین در ارزیابی

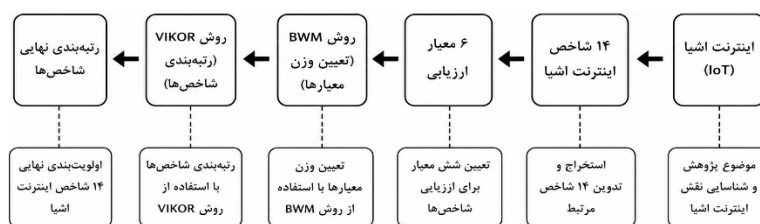
B- پایش لحظه‌ای وضعیت اشیا و مدیریت موجودی در زنجیره‌تأمین - امکان مشاهده واقعی موجودی با استفاده از اینترنت اشیا - پایش مداوم وضعیت کاری ماشین‌آلات با استفاده از اینترنت اشیا	A- مدیریت هوشمند زنجیره‌تأمین - هوشمند شدن زنجیره‌تأمین و بهینه‌سازی و مصرف مواد اولیه و سوخت در کل زنجیره‌تأمین - طراحی محصولات و فرایندهای مبتنی بر اینترنت اشیا با هدف کاهش انرژی مصرفی و کاهش مصرف مواد اولیه - پیاده‌سازی نظام مدیریت پسماند و تولید گازهای گلخانه‌ای مبتنی بر اینترنت اشیا
D- مکانیابی هوشمند اشیا در زنجیره‌تأمین - ردیابی لحظه‌ای مواد (موجودی، کالاهای پیش ساخته و کالاهای ساخته شده) با استفاده از اینترنت اشیا - رصد و پایش لحظه‌ای اطلاعات مربوط به مسیرهای حمل و نقل کالا	C- انتقال هوشمند اشیا در زنجیره‌تأمین - اتصال دارایی‌ها، منابع و تجهیزات در طول زنجیره‌تأمین به یکدیگر
F- منبع یابی هوشمند در زنجیره‌تأمین - افزایش دقت پیش بینی کمبود مواد اولیه و موجودی در تولید - کمک به برنامه ریزی استراتژیک برای انتخاب تأمین‌کنندگان با استفاده از اینترنت اشیا	E- شفافیت اطلاعاتی در زنجیره‌تأمین و کاهش فساد - استفاده از حسگرهای مبتنی بر اینترنت اشیا در کارخانه برای اهداف نظارتی گزارش و محافظت در برابر حوادث
H- مدیریت توزیع هوشمند - بهینه‌سازی بارگیری کامیون‌ها و وسایل حمل و نقل در شبکه توزیع بر اساس موقعیت مکانی کالاهای تحویلی	G- مدیریت کیفیت هوشمند - بهبود کیفیت محصول با استفاده از پایش و تغییر لحظه‌ای از راه دور سیستم‌های نگهداری - تشخیص تجهیزات نیازمند به تعمیرات به صورت آنی

۴-۱- معرفی معیارها

- شاخص‌هایی که پیشتر معرفی شدند گزینه‌هایی هستند که در بررسی به روش چندمعیاره باید با هم مقایسه و نسبت به هم و نسبت به درجه اهمیتشان اولویت‌بندی شوند. این شاخص‌ها بر اساس معیارهایی که در بررسی یک زنجیره‌تامین سبز مبتنی بر اینترنت اشیا مهم و کلیدی هستند ابتدا انتخاب شده سپس مقایسه می‌شوند. این معیارها در ۶ گروه طبقه‌بندی می‌شوند:
- بهینه‌سازی مصرف سوخت و انرژی
 - استفاده از مواد اولیه قابل بازیافت و سبز
 - استفاده از وسایل حمل و نقل با کمترین آلودگی و مسیریابی بهینه.
 - استفاده از تامین کنندگان سبز
 - بهینه‌سازی موجودی‌ها و کاهش ضایعات و هدررفت
 - مدیریت پسماند و بازیافت
- در نهایت ۱۴ شاخص بدست آمده با توجه به معیارهای مذکور باهم با روش ویکور مقایسه و اولویت‌بندی می‌شوند. اولویت‌بندی این شاخص‌ها به تصمیم‌گیران کمک خواهد کرد که بتوانند در خصوص تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری با هدف بروزرسانی روش‌ها سبز کردن زنجیره‌تامین و کاهش آلوده‌سازی محیط زیست، تصمیمات بهتری اتخاذ شود.

۴-۲- تعیین وزن به روش BWM و رتبه‌بندی گزینه‌ها توسط روش ویکور

فرآیند کلی پژوهش، شامل استخراج شاخص‌های اینترنت اشیا، ارزیابی آن‌ها بر اساس معیارهای منتخب، تعیین اوزان معیارها با استفاده از روش BWM و رتبه‌بندی نهایی شاخص‌ها به کمک روش VIKOR، به صورت شماتیک در شکل ۱ ارائه شده است. به این منظور در ابتدا شاخص‌های مورد مقایسه و بررسی در جدول ۲ آورده شده‌اند.



شکل ۱. چارچوب کلی پژوهش و فرآیند رتبه‌بندی شاخص‌ها

جدول ۲. گزینه‌های مورد بررسی

A1	هوشمند شدن زنجیره‌تامین و بهینه‌سازی و مصرف مواد اولیه و سوخت در کل زنجیره‌تامین
A2	طراحی محصولات و فرایندهای مبتنی بر اینترنت اشیا با هدف کاهش انرژی مصرفی و کاهش مصرف مواد اولیه
A3	پیاده‌سازی نظام مدیریت پسماند و تولید گازهای گلخانه‌ای مبتنی بر اینترنت اشیا
B1	امکان مشاهده واقعی موجودی با استفاده از اینترنت اشیا
B2	پایش مداوم وضعیت کاری ماشین‌آلات با استفاده از اینترنت اشیا
C1	اتصال دارایی‌ها، منابع و تجهیزات در طول زنجیره‌تامین به یکدیگر
D1	ردیابی لحظه‌ای مواد (موجودی، کالاهای پیش ساخته و کالاهای ساخته شده) با استفاده از اینترنت اشیا
D2	رصد و پایش لحظه‌ای اطلاعات مربوط به مسیرهای حمل و نقل کالا
E1	استفاده از حسگرهای مبتنی بر اینترنت اشیا در کارخانه برای اهداف نظارتی گزارش و محافظت در برابر حوادث
F1	افزایش دقت پیش بینی کمبود مواد اولیه و موجودی در تولید
F2	کمک به برنامه ریزی استراتژیک برای انتخاب تامین‌کنندگان و با استفاده از اینترنت اشیا
G1	بهبود کیفیت محصول با استفاده از پایش و تغییر لحظه‌ای از راه دور سیستم‌های نگهداری
G2	تشخیص تجهیزات نیازمند به تعمیرات به صورت آنی

H1	بهینه‌سازی بارگیری کامیون‌ها و وسایل حمل و نقل در شبکه توزیع بر اساس موقعیت مکانی کالاهای تحویلی
----	--

۳ = متوسط، ۴ = زیاد و ۵ = بسیار زیاد) ارزیابی کنند. در نهایت، میانگین نظرات خبرگان برای تشکیل ماتریس تصمیم اولیه مورد استفاده قرار گرفت. بر این اساس، ماتریس تصمیم اولیه متشکل از شاخص‌ها و معیارها تشکیل شد. در این ماتریس، مقادیر کیفی حاصل از ارزیابی خبرگان به مقادیر عددی متناظر تبدیل شده و در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۳. معرفی معیارها

معیار ۱	معیار ۲	معیار ۳	معیار ۴	معیار ۵	معیار ۶
بهینه‌سازی مصرف سوخت و انرژی	استفاده از مواد اولیه قابل بازیافت و سبز	استفاده از وسایل با کمترین آلودگی و مسیریابی بهینه	استفاده از تامین‌کنندگان سبز	بهینه‌سازی موجودی‌ها و کاهش ضایعات و هدررفت	مدیریت پسماند و بازیافت

جدول ۴. ماتریس تصمیم اولیه

گزینه	معیار ۱	معیار ۲	معیار ۳	معیار ۴	معیار ۵	معیار ۶
A1	۵	۱	۱	۳	۲	۱
A2	۵	۲	۱	۳	۲	۲
A3	۳	۴	۳	۲	۱	۵
B1	۴	۱	۱	۱	۵	۳
B2	۴	۱	۱	۱	۲	۲
C1	۴	۲	۲	۱	۵	۳
D1	۲	۱	۱	۱	۵	۳
D2	۴	۱	۵	۱	۳	۲
E1	۴	۱	۳	۱	۴	۳
F1	۴	۱	۱	۱	۳	۲
F2	۱	۴	۱	۵	۱	۱
G1	۳	۱	۱	۱	۳	۲
G2	۴	۱	۱	۱	۵	۲
H1	۴	۱	۵	۲	۲	۲

۴-۳-روش BWM

در جدول ۵ میزان ترجیح بهترین معیار نسبت به سایر معیارها و در جدول ۶ (بر اساس نظر همان خبرگانی که ماتریس تصمیم اولیه را ارزیابی کردند) میزان ترجیح سایر معیارها نسبت به بدترین معیار بر اساس مقیاس ۱ تا ۹ ارائه شده است.

پس از تشکیل ماتریس اولیه تصمیم برای ادامه فرایند تصمیم‌گیری، نیاز است که از بین شش معیار انتخاب شده وزن هر معیار مشخص گردد زیر این عمل یکی از مراحل اولیه تصمیم‌گیری می‌باشد. برای تعیین وزن به روش BWM، ابتدا

جدول ۵. میزان اهمیت مهم‌ترین نسبت به مابقی معیارها

میزان اهمیت نسبی	معیار ۱	معیار ۲	معیار ۳	معیار ۴	معیار ۵	معیار ۶
معیار ۱	۱	۵	۶	۳	۴	۸

جدول ۶. اهمیت مابقی معیارها به کم اهمیت‌ترین

میزان اهمیت مابقی معیارها به کم‌اهمیت‌ترین معیار	مدیریت پسماند و بازیافت
بهبودسازی مصرف سوخت و انرژی	۸
استفاده از مواد اولیه قابل بازیافت و سبز	۵
استفاده از وسایل حمل و نقل با کمترین آلودگی و مسیریابی بهینه	۳
استفاده از تأمین کنندگان سبز	۴
بهبودسازی موجودی‌ها و کاهش ضایعات و هدررفت	۲
مدیریت پسماند و بازیافت	۱

در پایان با انجام محاسبات میزان وزن برای هر معیار بصورت جدول ۷ می‌باشد.

جدول ۷. وزن معیارها

معیار ۱	معیار ۲	معیار ۳	معیار ۴	معیار ۵	معیار ۶
۰,۴۴۱۰۸۸	۰,۱۰۸۷۶۱	۰,۰۹۰۶۳۴	۰,۱۸۱۲۶۹	۰,۱۳۵۹۵۲	۰,۰۴۲۲۹۶

سازگاری مناسبتی برخوردار بوده و وزن‌های استخراج شده از قابلیت اعتماد لازم برای استفاده در ادامه تحلیل برخوردار هستند. با استفاده از ماتریس تصمیم اولیه، ماتریس نرمال شده بصورت جدول ۸ بدست می‌آید.

به منظور بررسی میزان سازگاری قضاوت‌های خبرگان، پس از حل مدل BWM مقدار بهینه انحراف (ξ^*) و نسبت سازگاری محاسبه شد. مقدار ξ^* برابر ۰,۱۰۲۷ و نسبت سازگاری ۰,۰۲۳ نشان می‌دهد که قضاوت‌های خبرگان از

جدول ۸. ماتریس نرمال شده

گزینه	بازیافت	موجودی	تأمین سبز	حمل و نقل	مواد سبز	بهبودسازی
A1	۰,۱۰۴۸	۰,۱۵۷۶	۰,۳۸۷۳	۰,۱۱۱۱	۰,۱۴۱۴	۰,۳۵۲۷
A2	۰,۲۰۹۷	۰,۱۵۷۶	۰,۳۸۷۳	۰,۱۱۱۱	۰,۲۸۲۸	۰,۳۵۲۷
A3	۰,۵۲۴۱	۰,۰۷۸۸	۰,۲۵۸۲	۰,۳۳۳۳	۰,۱۴۱۴	۰,۲۱۱۶
B1	۰,۳۱۴۵	۰,۳۹۴۱	۰,۱۲۹۱	۰,۱۱۱۱	۰,۱۴۱۴	۰,۲۸۲۱
B2	۰,۲۰۹۷	۰,۱۵۷۶	۰,۱۲۹۱	۰,۱۱۱۱	۰,۱۴۱۴	۰,۲۸۲۱
C1	۰,۳۱۴۵	۰,۳۹۴۱	۰,۱۲۹۱	۰,۲۲۲۲	۰,۱۴۱۴	۰,۲۸۲۱
D1	۰,۳۱۴۵	۰,۳۹۴۱	۰,۱۲۹۱	۰,۱۱۱۱	۰,۱۴۱۴	۰,۱۴۱۱
D2	۰,۲۰۹۷	۰,۲۳۶۴	۰,۱۲۹۱	۰,۵۵۵۶	۰,۱۴۱۴	۰,۲۸۲۱
E1	۰,۳۱۴۵	۰,۳۱۵۲	۰,۱۲۹۱	۰,۳۳۳۳	۰,۱۴۱۴	۰,۲۸۲۱
F1	۰,۲۰۹۷	۰,۲۳۶۴	۰,۱۲۹۱	۰,۱۱۱۱	۰,۱۴۱۴	۰,۲۸۲۱
F2	۰,۱۰۴۸	۰,۰۷۸۸	۰,۶۴۵۵	۰,۱۱۱۱	۰,۵۶۵۷	۰,۰۷۰۵
G1	۰,۲۰۹۷	۰,۲۳۶۴	۰,۱۲۹۱	۰,۱۱۱۱	۰,۱۴۱۴	۰,۲۱۱۶
G2	۰,۲۰۹۷	۰,۳۹۴۱	۰,۱۲۹۱	۰,۱۱۱۱	۰,۱۴۱۴	۰,۲۸۲۱
H1	۰,۲۰۹۷	۰,۱۵۷۶	۰,۲۵۸۲	۰,۵۵۵۶	۰,۱۴۱۴	۰,۲۸۲۱

در ادامه ماتریس وزنی، با استفاده از وزن‌های بدست آمده در روش BWM، مطابق جدول ۹ بدست می‌آید. از آنجا که وزن معیارها در این مرحله در ماتریس تصمیم اعمال شده است، محاسبات مقادیر S_i و R_i در ادامه بر اساس عناصر ماتریس وزنی انجام می‌شود و وزن معیارها مجدداً در روابط وارد نمی‌شوند.

جدول ۹. ماتریس وزنی

گزینه	بازیافت	موجودی	تأمین سبز	حمل و نقل	مواد سبز	بهینه‌سازی
A1	۰.۰۰۴۴	۰.۰۲۱۴	۰.۰۷۰۲	۰.۰۱۰۱	۰.۰۱۵۴	۰.۱۵۵۶
A2	۰.۰۰۸۹	۰.۰۲۱۴	۰.۰۷۰۲	۰.۰۱۰۱	۰.۰۳۰۸	۰.۱۵۵۶
A3	۰.۰۲۲۲	۰.۰۱۰۷	۰.۰۴۶۸	۰.۰۳۰۲	۰.۰۶۱۵	۰.۰۹۳۳
B1	۰.۰۱۳۳	۰.۰۵۳۶	۰.۰۲۳۴	۰.۰۱۰۱	۰.۰۱۵۴	۰.۱۲۴۴
B2	۰.۰۰۸۹	۰.۰۲۱۴	۰.۰۲۳۴	۰.۰۱۰۱	۰.۰۱۵۴	۰.۱۲۴۴
C1	۰.۰۱۳۳	۰.۰۵۳۶	۰.۰۲۳۴	۰.۰۲۰۱	۰.۰۳۰۸	۰.۱۲۴۴
D1	۰.۰۱۳۳	۰.۰۵۳۶	۰.۰۲۳۴	۰.۰۱۰۱	۰.۰۱۵۴	۰.۰۶۲۲
D2	۰.۰۰۸۹	۰.۰۳۲۱	۰.۰۲۳۴	۰.۰۵۰۴	۰.۰۱۵۴	۰.۱۲۴۴
E1	۰.۰۱۳۳	۰.۰۴۲۹	۰.۰۲۳۴	۰.۰۳۰۲	۰.۰۱۵۴	۰.۱۲۴۴
F1	۰.۰۰۸۹	۰.۰۳۲۱	۰.۰۲۳۴	۰.۰۱۰۱	۰.۰۱۵۴	۰.۱۲۴۴
F2	۰.۰۰۴۴	۰.۰۱۰۷	۰.۱۱۷۰	۰.۰۱۰۱	۰.۰۶۱۵	۰.۰۳۱۱
G1	۰.۰۰۸۹	۰.۰۳۲۱	۰.۰۲۳۴	۰.۰۱۰۱	۰.۰۱۵۴	۰.۰۹۳۳
G2	۰.۰۰۸۹	۰.۰۵۳۶	۰.۰۲۳۴	۰.۰۱۰۱	۰.۰۱۵۴	۰.۱۲۴۴
H1	۰.۰۰۸۹	۰.۰۲۱۴	۰.۰۴۶۸	۰.۰۵۰۴	۰.۰۱۵۴	۰.۱۲۴۴

در ادامه در جدول ۱۰ نقاط ایده‌آل مثبت و ضد ایده‌آل همچنین در جدول ۱۱ مقادیر S_i (شاخص سودمندی) و R_i (شاخص تأسف) برای هر گزینه محاسبه شده‌اند. منفی برای هر معیار از بین تمامی گزینه‌ها انتخاب می‌شوند.

جدول ۱۰. نقاط ایده‌آل مثبت و ضد ایده‌آل منفی

نوع	بازیافت	موجودی	تأمین سبز	حمل و نقل	مواد سبز	بهینه‌سازی
مثبت	۰.۰۲۲۲	۰.۰۵۳۶	۰.۱۱۷۰	۰.۰۵۰۴	۰.۰۶۱۵	۰.۱۵۵۶
منفی	۰.۰۰۴۴	۰.۰۱۰۷	۰.۰۲۳۴	۰.۰۱۰۱	۰.۰۱۵۴	۰.۰۳۱۱

جدول ۱۱. مقادیر سودمندی و تأسف

گزینه	S_i (شاخص سودمندی)	R_i (شاخص تأسف)
A1	۰.۴۳۴۳	۰.۱۰۸۸
A2	۰.۳۸۷۵	۰.۱۰۲
A3	۰.۵۳۷۸	۰.۲۲۰۵
B1	۰.۵۱۲۱	۰.۱۸۱۳
B2	۰.۶۲۴۶	۰.۱۸۱۳
C1	۰.۴۵۳۲	۰.۱۸۱۳
D1	۰.۷۳۲۶	۰.۳۳۰۸
D2	۰.۵	۰.۱۸۱۳
E1	۰.۵۰۰۸	۰.۱۸۱۳

۰,۱۸۱۳	۰,۵۹۰۶	F1
۰,۴۴۱۱	۰,۷۱	F2
۰,۲۲۰۵	۰,۷۰۰۹	G1
۰,۱۸۱۳	۰,۵۳۲۷	G2
۰,۱۳۶	۰,۴۸۱۷	H1

ارزیابی قرار گرفتند. مطابق شرط اول (مزیت قابل قبول)، اختلاف مقدار شاخص Q بین گزینه اول و دوم باید حداقل برابر با $1/(m-1)$ باشد. با توجه به اینکه تعداد گزینه‌ها ۱۴ است، مقدار آستانه برابر با $0,0769 = 1/(14-1)$ خواهد بود. از آنجا که اختلاف مقادیر شاخص Q برای دو گزینه اول برابر است با:

$$Q(A1) - Q(A2) = 0.0779 - 0 = 0.0779 > 0.0769$$

بنابراین شرط اول برقرار است. همچنین مطابق شرط دوم (پایداری قابل قبول)، گزینه برتر باید حداقل در یکی از شاخص‌های S یا R نیز بهترین رتبه را کسب کرده باشد. با توجه به نتایج جدول ۱۱، گزینه $A2$ دارای بهترین مقدار در شاخص‌های S و R است؛ بنابراین شرط دوم نیز برقرار بوده و گزینه $A2$ به عنوان راه‌حل سازشی نهایی انتخاب می‌شود.

در نهایت، با شاخص ویکور $v=0,5$ و انجام محاسبات، اولویت‌بندی گزینه‌ها مطابق جدول ۱۲ خواهد بود.

با توجه به مقایسات انجام شده روی شش گروه معیار و ۱۴ شاخص توسط روش ویکور، نتایج بدست آمده حاکی از آن است که موثرترین و پراهمیت‌ترین شاخص، طراحی محصولات و فرایندهای مبتنی بر اینترنت اشیاء با هدف کاهش انرژی مصرفی و کاهش مصرف مواد اولیه می‌باشد و همچنین لازم به ذکر است که میزان اثرگذاری این شاخص ارتباط مستقیمی با وزین‌ترین معیار که بهینه‌سازی سوخت و مصرف انرژی و مواد اولیه دارد و همچنین کم اهمیت‌ترین آن‌ها کمک به برنامه ریزی استراتژیک برای انتخاب تامین‌کنندگان با استفاده از اینترنت اشیاء می‌باشد. به منظور بررسی پذیرش راه‌حل سازشی، دو شرط روش VIKOR که در بخش روش‌شناسی معرفی شدند، مورد

جدول ۱۲. اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها

نام گزینه	نتیجه
A2	۰
A1	۰,۰۷۷۹
H1	۰,۱۹۶۷
C1	۰,۲۱۲۱
D2	۰,۲۷۹۹
E1	۰,۲۸۱
B1	۰,۲۹۷۵
G2	۰,۳۱۲۸
A3	۰,۳۹۲۶
F1	۰,۴۱۱۲
B2	۰,۴۶۰۵
G1	۰,۶۲۸۹
D1	۰,۸۳۷۴
F2	۰,۹۶۷۲

۵- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، با بهره‌گیری از مرور نظام‌مند ادبیات، چهارده شاخص کلیدی مرتبط با کاربرد های اینترنت اشیا در زنجیره‌تأمین سبز شناسایی و در قالب شش معیار اصلی شامل بهینه‌سازی مصرف سوخت، انرژی و مواد اولیه، استفاده از مواد اولیه قابل بازیافت و سبز، استفاده از وسایل حمل‌ونقل با کمترین آلودگی و مسیریابی بهینه، استفاده از تأمین‌کنندگان سبز، بهینه‌سازی موجودی‌ها و کاهش ضایعات و هدررفت، و مدیریت پسماند و بازیافت مورد ارزیابی قرار گرفتند. سپس با استفاده از روش BWM وزن هر یک از معیارها تعیین و با بهره‌گیری از روش VIKOR اولویت نهایی شاخص‌ها مشخص شد.

نتایج پژوهش نشان داد که طراحی محصولات و فرایندهای مبتنی بر اینترنت اشیا با هدف کاهش مصرف انرژی و مواد اولیه، بالاترین اولویت را در میان شاخص‌های مورد بررسی کسب کرده است. این یافته نشان می‌دهد که بیشترین ظرفیت اینترنت اشیا در مرحله طراحی محصول و فرایندهای تولید نهفته است، زیرا تصمیمات اتخاذ شده در این مرحله می‌تواند بر میزان مصرف انرژی، مواد اولیه، تولید ضایعات و عملکرد زیست‌محیطی کل چرخه عمر محصول اثرگذار باشد. همچنین این شاخص ارتباط مستقیمی با مهم‌ترین معیار پژوهش، یعنی بهینه‌سازی مصرف سوخت، انرژی و مواد اولیه دارد و همین موضوع جایگاه آن را در رتبه نخست توجیه می‌کند.

در رتبه دوم، شاخص هوشمندسازی زنجیره‌تأمین و بهینه‌سازی مصرف مواد اولیه و سوخت در کل زنجیره قرار گرفت. این نتیجه بیانگر آن است که کاربرد اینترنت اشیا در ایجاد یک زنجیره‌تأمین هوشمند، علاوه بر افزایش قابلیت مشاهده و تبادل اطلاعات، زمینه کاهش اتلاف منابع، بهبود تخصیص مواد اولیه، کاهش مصرف انرژی و ارتقای کیفیت تصمیم‌گیری عملیاتی را فراهم می‌کند. دسترسی به داده‌های لحظه‌ای و امکان پایش مستمر فعالیت‌ها موجب می‌شود مدیران بتوانند تصمیم‌های دقیق‌تر و به موقع‌تری اتخاذ کرده و عملکرد زیست‌محیطی زنجیره‌تأمین را بهبود بخشند.

همچنین شاخص بهینه‌سازی بارگیری کامیون‌ها و وسایل حمل‌ونقل در شبکه توزیع بر اساس موقعیت مکانی کالاهای تحویلی در رتبه سوم قرار گرفت. این یافته بیانگر اهمیت بالای کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت حمل‌ونقل و لجستیک است. استفاده از اطلاعات مکانی و داده‌های برخط، امکان انتخاب

مسیرهای مناسب، افزایش بهره‌برداری از ظرفیت ناوگان، کاهش سفرهای غیرضروری، کاهش مصرف سوخت و در نتیجه کاهش انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی را فراهم می‌کند. بنابراین توسعه کاربردهای اینترنت اشیا در بخش حمل‌ونقل می‌تواند نقش مؤثری در ارتقای عملکرد زیست‌محیطی زنجیره‌تأمین ایفا کند.

در مقابل، شاخص کمک به برنامه‌ریزی استراتژیک برای انتخاب تأمین‌کنندگان با استفاده از اینترنت اشیا پایین‌ترین اولویت را به دست آورد. این نتیجه به معنای کم‌اهمیت بودن این شاخص نیست، بلکه نشان می‌دهد که آثار آن نسبت به سایر شاخص‌ها بیشتر ماهیتی غیرمستقیم، بلندمدت و وابسته به تصمیم‌های مدیریتی است. در مقابل، شاخص‌های مرتبط با طراحی محصول، مدیریت عملیات و حمل‌ونقل، آثار مستقیم‌تر و ملموس‌تری بر کاهش مصرف انرژی، کاهش ضایعات و بهبود عملکرد زیست‌محیطی دارند و به همین دلیل از دیدگاه خبرگان اهمیت بیشتری یافته‌اند.

به طور کلی، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که کاربردهای اینترنت اشیا در زنجیره‌تأمین سبز بیش از هر چیز در حوزه‌های طراحی محصول، مدیریت عملیات، کنترل منابع و بهینه‌سازی فعالیت‌های لجستیکی ارزش‌آفرین هستند. از این رو، سازمان‌هایی که قصد سرمایه‌گذاری در توسعه زنجیره‌تأمین سبز را دارند، بهتر است در گام نخست منابع خود را بر توسعه این کاربردها متمرکز کنند تا بتوانند بیشترین منافع زیست‌محیطی و عملیاتی را از استقرار اینترنت اشیا به دست آورند.

نتایج این پژوهش با بسیاری از مطالعات پیشین که بر نقش اینترنت اشیا در کاهش مصرف انرژی، بهبود مدیریت منابع، افزایش شفافیت اطلاعات و ارتقای عملکرد زیست‌محیطی زنجیره‌تأمین تأکید کرده‌اند، همخوانی دارد. با این حال، وجه تمایز پژوهش حاضر در ارائه یک چارچوب کمی برای اولویت‌بندی کاربردهای مختلف اینترنت اشیا در زنجیره‌تأمین سبز است. این اولویت‌بندی می‌تواند مدیران و تصمیم‌گیرندگان را در تخصیص بهینه منابع، تعیین اولویت پروژه‌های توسعه فناوری و انتخاب حوزه‌های سرمایه‌گذاری یاری کند.

با توجه به اینکه نتایج این پژوهش بر پایه قضاوت خبرگان و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به دست آمده و اعتبارسنجی میدانی آن در صنایع مختلف انجام نشده است، توسعه پژوهش‌های آینده می‌تواند به افزایش قابلیت تعمیم و

شفافیت، قابلیت ردیابی، پیش‌بینی و بهینه‌سازی تصمیم‌ها در زنجیره‌تأمین سبز ارزیابی شود.

علاوه بر این، توسعه مدل‌های تصمیم‌گیری مبتنی بر محیط‌های فازی، فازی شهودی یا سایر رویکردهای مدل‌سازی عدم قطعیت می‌تواند دقت تحلیل قضاوت‌های خبرگان را افزایش دهد. انجام تحلیل حساسیت نسبت به وزن معیارها و پارامترهای مدل و مقایسه نتایج حاصل از روش VIKOR با سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نیز می‌تواند میزان پایداری و قابلیت اعتماد رتبه‌بندی به دست آمده را مشخص کند.

در نهایت، بررسی چالش‌های اجرایی، فنی و سازمانی پیاده‌سازی اینترنت اشیاء، از جمله هزینه‌های استقرار، امنیت اطلاعات، حریم خصوصی، زیرساخت‌های ارتباطی و مقاومت سازمانی، و نیز توسعه شاخص‌های کمی برای اندازه‌گیری میزان کاهش مصرف انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاهش ضایعات و بهبود بهره‌وری منابع، می‌تواند زمینه توسعه کاربردهای عملی اینترنت اشیاء در مدیریت زنجیره‌تأمین سبز را بیش از پیش فراهم سازد.

کاربردپذیری نتایج کمک کند. در این راستا پیشنهاد می‌شود چارچوب ارائه‌شده در صنایع مختلف نظیر خودروسازی، صنایع غذایی، داروسازی، پتروشیمی و شرکت‌های لجستیکی از طریق مطالعات موردی و پروژه‌های پایلوت اعتبارسنجی شود تا میزان انطباق نتایج با شرایط واقعی سازمان‌ها ارزیابی گردد. همچنین انجام تحلیل‌های هزینه-فایده و بازگشت سرمایه برای کاربردهای مختلف اینترنت اشیاء می‌تواند دید جامع‌تری نسبت به توجیه اقتصادی پیاده‌سازی این فناوری در اختیار مدیران قرار دهد.

از سوی دیگر، انجام مطالعات طولی به منظور بررسی اثرات بلندمدت اینترنت اشیاء بر شاخص‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و عملیاتی، می‌تواند پایداری نتایج حاصل از استقرار این فناوری را روشن‌تر سازد. همچنین پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده به بررسی یکپارچه‌سازی اینترنت اشیاء با فناوری‌های نوینی مانند هوش مصنوعی، بلاک‌چین، رایانش ابری، تحلیل کلان‌داده و دوقلوی دیجیتال بپردازند تا ظرفیت این فناوری‌ها در افزایش

۶-مراجع

-رجبی‌پور میبدی، علیرضا، مفتاح‌زاده، الهام، کیانی، مهرداد، و زمزم، فاطمه (۱۳۹۹). طراحی الگوی عوامل مؤثر بر استقرار مدیریت زنجیره‌تأمین سبز بر اساس رویکرد فراترکیب و تحلیل و توسعه گزینه‌های استراتژیک. مدیریت بهره‌وری، ۱۵(۱)، ۲۹۳-۲۶۵.

-رضایی، متین و ربیعی، محمد (۱۳۹۶). نقش سیستم بینایی ماشین و اینترنت اشیاء در زنجیره‌تأمین مواد غذایی. اولین کنفرانس بین‌المللی دستاوردهای نوین در علوم و تکنولوژی، ۲ شهریور ۱۳۹۶، قرچک.

-کریمی، حسین، جمشیدی، محمدجواد، و بخش، میلاد (۱۴۰۲). شناسایی مولفه‌ها و شاخص‌های پیشران در مدیریت زنجیره‌تأمین سبز مبتنی بر اینترنت اشیاء. مطالعات مدیریت صنعتی، ۲۱(۶۹)، ۱۶۰-۱۲۹.

-بخشم، میلاد، کریمی، حسین، و حسین‌پور، مهدی (۱۴۰۰). تأثیر کاربردهای فناوریانه اینترنت اشیاء بر توسعه قابلیت‌های پویا در شرکت‌های دانش‌بنیان بخش کشاورزی. راهبردهای کارآفرینی در کشاورزی، ۱۵، ۶۷-۷۵.

بیژن‌پور، مهدی، احتشام‌رائی، رامین، و قراخانی، داوود (۱۴۰۲). مدیریت پسماندها در شهرهای هوشمند با استفاده از شبکه اینترنت اشیاء. فصلنامه مدیریت سبز، ۳(۱)، ۲۴-۱.

-جمشیدی، محمدجواد (۱۳۹۶). استراتژی‌های مدیریت زنجیره‌تأمین سبز برای دستیابی به توسعه پایدار. ششمین کنگره سراسری فناوری‌های نوین ایران با هدف دستیابی به توسعه پایدار، ۲۰ مهر ۱۳۹۶، تهران.

-حشمتی، حامد و فتحی ظلم‌آبادی، بهاره (۱۳۹۹). کاربرد اینترنت اشیاء در مدیریت زنجیره‌تأمین. سیزدهمین کنفرانس بین‌المللی انجمن ایرانی تحقیق در عملیات، ۳ و ۴ اردیبهشت ۱۳۹۹، شاهرود.

- Govindan, K., Muduli, K., Devika, K., & Barve, A. (2015). Investigation of the influential strength of factors on adoption of green supply chain management practices: An Indian mining scenario. *Resources, Conservation and Recycling*, 107, 185–194.
- Jabbour, C. J. C., & Jabbour, A. B. L. (2016). Green human resource management and green supply chain management: Linking two emerging agendas. *Journal of Cleaner Production*, 112(3), 1824–1833.
- Jayant, A., & Azhar, M. (2014). Analysis of the barriers for implementing green supply chain management (GSCM) practices: An interpretive structural modeling (ISM) approach. *Procedia Engineering*, 97, 2157–2166.
- Malik, P. K., Sharma, R., Singh, R., Gehlot, A., Satapathy, S. C., Alnumay, W. S., & Nayak, J. (2020). Industrial Internet of Things and its applications in industry 4.0: State of the art. *Computer Communications*, 166, 125–139.
- Younis, H., Sundarakani, B., & O'Mahony, B. (2019). Green supply chain management and corporate performance: Developing a roadmap for future. *IIMB Management Review*.
- همایون‌فر، مهدی، گودرزوند چگینی، مهرداد، و دانشور، امیر (۱۳۹۷). اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان زنجیره‌تأمین سبز با استفاده از رویکرد ترکیبی MCDM فازی. تحقیق در عملیات و کاربردهای آن، ۱۵(۲)، ۴۱–۶۱.
- 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.
- Afarin Mohammadzadeh, M., & Hasanzadeh, R. (2018). Identification and ranking of effective factors on the implementation of green supply chain management by Fuzzy TOPSIS and Fuzzy AHP in Electricity Industry. *Journal of Decisions and Operations Research*, 3(3), 281–301. (In Persian)
- Balaji, M., Velmurugan, V., & Prasath, M. (2014). Barriers in green supply chain management: An Indian foundry perspective. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(7), 423–429.
- Berna, M., Mozafari, M., Zeruhash, A., & Yari, B. (2018). Strategies and policies of green supply chain management practices in Iran. *Work and Society*, 218, 66. (In Persian)
- Cankaya, S. Y., & Sezen, B. (2019). Effects of green supply chain management practices on sustainability performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(1), 98–121.

Prioritizing Supply Chain Indicators at the Nexus of Digital Transformation and Sustainability (A Hybrid BWM–VIKOR Framework)

*Asal Cheraghi, M.Sc., Grad., Department of Industrial Engineering,
Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.*

*Javad Behnamian, Professor, Department of Industrial Engineering,
Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.*

E-mail: Behnamian@basu.ac.ir

Received: March 2026- Accepted: August 2026

ABSTRACT

This study aims to identify, evaluate, and prioritize the key indicators influencing green supply chain management through the Internet of Things (IoT). Following a comprehensive literature review and the identification of key drivers, fourteen indicators related to IoT applications in green supply chains were extracted. To assess their relative importance, six evaluation criteria were defined and weighted using the Best–Worst Method (BWM). Subsequently, the VIKOR method was employed to prioritize the indicators based on the criteria weights obtained from BWM, thereby determining their relative contributions to environmental sustainability and supply chain performance. The results indicate that designing IoT-based products and processes aimed at reducing energy consumption and raw material usage is the most important indicator, as it plays a central role in minimizing environmental impacts and optimizing resource utilization throughout the product life cycle. In contrast, supporting strategic supplier selection through IoT was identified as the least important indicator, suggesting that operational and design-oriented IoT applications are considered more influential than strategic applications in the context examined. The findings further provide managerial and policy insights into the implementation of IoT technologies across product design, production, logistics, and recycling activities. By integrating the BWM and VIKOR methods, this study offers a practical decision-support framework for managers and decision-makers to prioritize investments and digital transformation initiatives for sustainable supply chains, thereby facilitating more effective progress toward supply chain sustainability.

Keywords: Supply Chain, Digital Transformation, Sustainability, Internet of Things, VIKOR, BWM