



تدوین معیارهای انتخاب تامین کننده سبز در صنعت کاشی با رویکرد دلفی فازی و تحلیل سلسله مراتبی فازی

رضا سلیمانی

گروه مدیریت، دانشگاه ولی عصر، رفسنجان، ایران

E.mail: r.soleymani@vru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۶ * تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۰۸/۰۷

چکیده

به طور سنتی انتخاب تامین کننده بر اساس جنبه های اقتصادی انجام می شود، اما ارزیابی و انتخاب تامین کنندگان سبز به دلیل نگرانی های فزاینده در مورد محیط زیست و ضرورت مدیریت زنجیره تامین سبز حیاتی شده است. فقدان معیارها و روش های استاندارد انتخاب تامین کننده سبز، مقایسه مداوم تامین کنندگان را دشوار می کند. در این پژوهش تلاش شده است تا چارچوبی برای شناسایی، بومی سازی و اولویت بندی معیارهای ارزیابی و انتخاب تامین کننده سبز در صنعت کاشی ارائه شود. در ابتدا با مطالعه و بررسی پیشینه پژوهش ۱۶ معیار شناسایی شد، در مرحله بعد با مصاحبه با خبرگان صنعت کاشی بر اساس روش دلفی فازی ۱۲ معیار تایید شد. در نهایت وزن دهی و رتبه بندی معیارها با انجام مقایسات زوجی و بر اساس مراحل روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی انجام شد. نتایج نشان داد که معیارهای سیستم مدیریت محیطی، کیفیت و همکاری مهم ترین شاخص های ارزیابی تامین کنندگان سبز در صنعت کاشی هستند. علاوه بر این ها شرکت های کاشی باید معیارهای محصولات سبز، کارایی منابع، هزینه، فناوری، تحقیق و توسعه سبز، قابلیت بازیافت، طراحی زیست محیطی، تصویر سبز و انعطاف پذیری را نیز در نظر بگیرند. یافته های پژوهش بینش های ارزشمندی برای سیاست گذاران، مدیران صنعت و ذی نفعان در توسعه یک مدل انتخاب تامین کننده سبز برای شرکت های کاشی ارائه می دهد.

کلمات کلیدی: انتخاب تامین کننده سبز، مدیریت زنجیره تامین سبز، فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی، دلفی فازی.

۱- مقدمه

در طول سه دهه گذشته، آگاهی زیست محیطی شرکت ها و مشتریان در سراسر جهان افزایش یافته است. امروزه مصرف کنندگان نه تنها تمایل دارند انتظارات و نیازهای آن ها در بالاترین سطح برآورده شود، بلکه خواستار احترام به محیط زیست نیز هستند. با افزایش آگاهی مصرف کنندگان از تأثیر خریدهایشان بر محیط زیست، آن ها بیشتر تمایل دارند از کسب و کارهایی حمایت کنند که به سازگاری با محیط زیست متعهد هستند. علاوه بر این، دولت ها در سراسر جهان استانداردها و مقررات زیست محیطی سختگیرانه تری را اعمال می کنند و کسب و کارها را مجبور می کنند تا شیوه های سبز را در مدیریت زنجیره تأمین خود بگنجانند (Sahoo & Goswami, 2024). تا همین اواخر، پیامدهای منفی فعالیت های تولیدی سازمان ها نادیده گرفته شده بود، اما امروزه حفظ و تجدید منابع طبیعی به مهم ترین موضوع تبدیل شده است (Sharma, Chandna & Bhardwaj, 2017). مصرف سریع منابع منجر به افزایش مشکلات زیست محیطی مانند اتلاف منابع، تغییرات اقلیمی و آلودگی هوا شده است که چالش های بزرگی برای محیط انسان ها ایجاد کرده اند. بی ثباتی اکولوژی می تواند به ناآرامی های اجتماعی، آشفتگی های اقتصادی و سایر مشکلات پیش بینی نشده منجر شود (Zeng et al., 2023). اخیراً سازمان ها به دلیل افزایش آگاهی در مورد مسائل زیست محیطی و دستورات نظارتی با فشار زیادی برای در نظر گرفتن جنبه های زیست محیطی در عرضه خود مواجه هستند. شرکت ها باید به صرفه جویی در انرژی، حذف ضایعات، قابلیت تعویض، سهولت جداسازی قطعات، قابلیت بازیافت، استفاده از انرژی پاک تر، استفاده مجدد از زباله های بسته بندی، محدود کردن مواد مضر و خطرناک توجه کنند (Zhu, Sarkis & Lai, 2007). بنابراین، مدیریت زنجیره تأمین سبز (GSCM) به طور فزاینده ای حیاتی می شوند.

ترکیب نگرانی های زیست محیطی با شیوه های مدیریت زنجیره تأمین به عنوان مدیریت زنجیره تأمین سبز (GSCM) نامیده می شود. تعریف GSCM در ابتدا توسط مین و کیم (۲۰۱۲) ارائه شد که عبارت بود از مدیریت سازگار با محیط زیست فعالیت های زنجیره تأمین از ابتدا تا انتها (Min & Kim, 2012). مدیریت زنجیره تأمین سبز باعث رقابت پذیری بیشتر و عملکرد اقتصادی بالاتر می شود (Gupta, Soni & Kumar, 2019). یکی از جنبه های حیاتی مدیریت زنجیره تأمین سبز، انتخاب تامین کنندگان مناسب است. تامین کنندگان سبز در بالادست زنجیره تأمین سبز قرار دارند و بر پایین دست تدارکات، تولید و غیره تأثیر می گذارند. ارائه محصولات سبز از تامین کنندگان سبز با بالاترین کیفیت می تواند هزینه ها را کاهش دهد و در عین حال محیط زیست را حفظ کند و پتانسیل جذب مشتری برای شرکت ها را دارد (Rajesh & Ravi, 2015). انتخاب تامین کنندگانی که با اصول سبز و شیوه های پایدار همسو هستند، نه تنها رعایت مقررات سخت گیرانه زیست محیطی را تسهیل می کند، بلکه پتانسیل صرفه جویی در هزینه، افزایش اعتبار برند و بهبود تاب آوری در عملیات زنجیره تأمین را نیز فراهم می کند (Gupta & Barua, 2017). بنابراین برای شرکت ها، انتخاب تامین کننده سبز مناسب می تواند به عنوان یک استراتژی حیاتی تلقی شود و روش ها و معیارهای انتخاب علمی و منطقی به شدت مورد نیاز است. با این حال، انتخاب تامین کنندگان سبز بهینه یک چالش بزرگ برای شرکت ها است. در ارزیابی تامین کنندگان سبز باید عناصر مختلفی مانند اطلاعات کیفی و کمی در نظر گرفته شود (Lu et al., 2021).

دیدگاه سنتی در مورد انتخاب تامین کننده در طول سال ها تکامل یافته است. از نظر تاریخی، کسب و کارها در درجه اول هنگام انتخاب تامین کنندگان خود بر هزینه، کیفیت و زمان بندی تمرکز داشتند. با این حال، ظهور چالش های

زیست‌محیطی این الگو را تغییر داده است. مسائلی مانند تغییرات اقلیمی، کاهش منابع و آلودگی توجه را به تأثیر زیست‌محیطی زنجیره‌های تأمین معطوف کرده است (Fazlollahtabar & Kazemitash, 2021). بنابراین شرکت‌ها در حال ارزیابی مجدد معیارهای خود برای انتخاب تامین‌کننده هستند تا ملاحظات پایداری را در نظر بگیرند. با این حال، انتخاب تأمین‌کنندگان سبز (GSS) مناسب دشوارتر از انتخاب تأمین‌کننده سنتی است، زیرا مستلزم در نظر گرفتن معیارهای کیفی و متناقض زیست‌محیطی است (Yousefi et al., 2019). برخلاف انتخاب تأمین‌کننده معمولی، GSS باید بر اساس مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی که ارائه می‌دهند، باشد. بنابراین چگونگی ساخت مجموعه‌ای از سیستم‌های شاخص قدرتمند ضروری است. در نتیجه انتخاب تأمین‌کننده سبز را می‌توان یک مساله تصمیم‌گیری چندمعیاره فرض کرد. رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) می‌تواند ابزار مناسبی برای مقابله با مشکل انتخاب تأمین‌کننده سبز و مقایسه تأمین‌کنندگان باشد. تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، به عنوان یک رویکرد کمی و سیستماتیک، چارچوبی ساختاریافته برای ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان بر اساس معیارهای متنوع، چندوجهی و مرتبط ارائه می‌دهد (Ecer, 2022).

تکنیک‌های MCDM متعددی در انتخاب تأمین‌کننده سبز به کار گرفته شده‌اند که هر کدام نقاط قوت و محدودیت‌های منحصر به فرد خود را دارند. ANP، AHP و TOPSIS از جمله روش‌های پرکاربرد هستند. تحقیقات ساهو و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد که فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) یک انتخاب محبوب برای مدل‌سازی ماهیت پیچیده تصمیمات انتخاب تأمین‌کننده است، در حالی که تنوع معیارهای دخیل در انتخاب تأمین‌کننده سبز را در نظر می‌گیرد (Sahu et al., 2023). در پژوهش حاضر از دلفی فازی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) جهت بومی‌سازی و وزن‌دهی معیارهای انتخاب تأمین‌کننده سبز در صنعت کاشی استفاده شد. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی سنتی صرفاً مقادیر دقیق هنگام انجام مقایسه‌های زوجی را می‌پذیرد، بنابراین استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای مقابله با ابهام و عدم دقت در مقایسات زوجی اهمیت دارد. روش FAHP می‌تواند هم مدل‌سازی بهتری از عدم دقت، ابهام و پیچیدگی ارائه دهد و هم به تصمیم‌گیری بهتر در مقایسات کمک کند. این ویژگی‌ها آن را نسبت به سایر روش‌های مشابه برتری می‌دهد. کاشی و سرامیک به‌عنوان یک صنعت پیشرو در ایران قدمتی تاریخی دارد و یکی از پویاترین و نوآورانه‌ترین صنایع در ایران است. تأمین‌کنندگان این صنعت نقش حیاتی در فعالیت‌های تجاری با توجه به مسائل زیست‌محیطی دارند. بنابراین انتخاب تأمین‌کننده سبز در صنعت کاشی یک فرایند ضروری برای ذی‌نفعان محسوب می‌شود.

موارد زیر سهم قابل توجه این مطالعه است: ۱. مساله انتخاب تأمین‌کننده سبز در محیط فازی بررسی خواهد شد. ۲. استفاده از روش دلفی جهت بومی‌سازی معیارها برای صنعت کاشی. تکنیک دلفی ضمن پرداختن به پیچیدگی‌های اطلاعات و جلوگیری از تحریف نظرات متخصصان، اجماعی قوی بین گروهی از خبرگان ایجاد می‌کند (Tuni et al., 2023). ۳. ایجاد مجموعه‌ای از شاخص‌ها که ویژگی‌های سنتی و ویژگی‌های سبز را ترکیب می‌کنند. ۴. برای مساله انتخاب تأمین‌کننده سبز که اهمیت شاخص‌های مختلف مشخص نیست، یک روش محاسبه وزن یکپارچه بر مبنای FAHP ارائه شد. قضاوت منطقی در مورد اهمیت شاخص‌ها بدون مشارکت روش‌های وزن‌دهی غیرممکن است.

الف) پیشینه پژوهش

به دلیل افزایش مقررات و آگاهی زیست‌محیطی انتخاب تأمین‌کننده سبز در محافل دانشگاهی و تجاری مورد توجه زیادی قرار گرفته است. باکی (۲۰۲۲) عوامل تأثیرگذار بر انتخاب تأمین‌کننده سبز را بررسی کرد و هشت عامل مؤثر را برای ارزیابی در

سه بعد - کلاسیک، اجتماعی و زیست محیطی - تعیین کرد. نتایج نشان داد که کیفیت، مسئولیت اجتماعی، خدمات، هزینه و محصولات سبز متغیرهای کلیدی مؤثر بر GSS هستند (Baki, 2022). لین و همکاران (۲۰۱۱) روش های ANP و LP را برای بررسی طرح های خرید سبز در صنعت الکترونیک ادغام کردند. مدل آنها توسط شرکت های برد مدار چاپی استفاده شد (Lin et al., 2011). لیو و همکاران (۲۰۲۲) از BWM برای تعیین اهمیت پنج ویژگی کیفیت محصول، طراحی سبز، قیمت، ظرفیت سازمانی و حمل و نقل و فرهنگ مشارکتی سازگار با محیط زیست تأمین کننده استفاده کردند که در آن کیفیت محصول به عنوان بهترین و حمل و نقل و قابلیت های سازمانی به عنوان بدترین ویژگی ها انتخاب شدند (Liu et al., 2022).

زوگاری و بنیوسف (۲۰۱۲) ارزیابی تأمین کننده سبز و مدل تخصیص سفارش را با یک روش چهار مرحله ای شبیه سازی دانش در زنجیره تأمین پویا انجام دادند (Zougari & Benyoucef, 2012). برای صرفه جویی در منابع و کاهش آلودگی، وانگ و همکاران (۲۰۲۲) با در نظر گرفتن پنج جنبه: قیمت، کیفیت، حمل و نقل، خدمات و محیط زیست، یک تأمین کننده سبز بهینه برای شرکت های تولید فولاد ویتنامی انتخاب کردند (Wang et al., 2022). گورن (۲۰۱۸) یک چارچوب تصمیم گیری برای شرکت های خرده فروش آنلاین طراحی کردند. آن ها از دیمتل برای تعیین وزن معیارهای وابسته و از توابع ضرر تاگوجی برای محاسبه ارزش عملکرد هر تأمین کننده استفاده کردند. نتایج رتبه بندی تأمین کنندگان متفاوت از روش های رایج بود (Goren, 2018). کانگ و همکاران (۲۰۲۲) هفت معیار اصلی شامل کیفیت، هزینه، همکاری خدماتی، توانایی پایداری، محیط سبز، توسعه سبز و رقابت سبز را برای تجزیه و تحلیل و انتخاب تأمین کنندگان سازگار با محیط زیست در شرکت های کاغذسازی پیشنهاد کردند (Kang et al., 2022). نگوین و همکاران (۲۰۲۱) پس از استفاده از AHP برای تعیین وزن شاخص ها، از ویکور برای رتبه بندی تأمین کنندگان سبز استفاده کردند. آن ها دوازده زیر معیار را برای ارزیابی و انتخاب تأمین کنندگان سبز بر اساس پنج جنبه کیفیت، هزینه، حمل و نقل، فناوری و محیط زیست شناسایی کردند (Nguyen et al., 2021).

پارک و همکاران (۲۰۱۸) از نظریه مطلوبیت چند شاخصه و چندهدفه برای حل چالش انتخاب تأمین کننده سبز استفاده کردند. در این روش چندین راه حل کارآمد (بهینه پاراتو) به دست می آید که بیشترین ترجیح را داشتند و یکی را می توان با توجه به ترجیحات تصمیم گیرنده نهایی انتخاب کرد (Park et al., 2018). تاوانا و همکاران (۲۰۲۱) معیارهای ارزیابی برای بهترین تأمین کننده بازیافت تایر سبز را بر اساس ابعاد زیست محیطی، از جمله محصولات سبز، خروجی و کنترل آلودگی و مدیریت زیست محیطی پیشنهاد کردند (Tavana et al., 2021). شاو و همکاران (۲۰۱۲) مدلی برای انتخاب مناسب ترین تأمین کننده در GSCM از طریق FAHP و برنامه ریزی خطی چندهدفه فازی (FMOLP) پیشنهاد کردند (Shaw et al., 2012). وو و همکاران (۲۰۲۰) یک روش MADM فازی نوع ۲ را برای انتخاب تأمین کننده سبز تجهیزات شارژ خودروهای الکتریکی انتخاب کردند و ۱۲ زیر معیار از پنج سطح هزینه، کیفیت، تحویل، فناوری و محیط زیست را شناسایی کردند (Wu et al., 2020).

لیو و همکاران (۲۰۱۶) یک رویکرد یکپارچه که ترکیبی از روش دیمتل و ANP اصلاح شده در محیط خاکستری بود را برای مساله GSS پیشنهاد کردند (Liou et al., 2016). گوپتا و همکاران (۲۰۱۹) انتخاب تأمین کننده سبز در محیط فازی در صنعت خودرو را با استفاده از ۴ تکنیک AHP فازی، MABAS، WASPAS و TOPSIS انجام دادند (Gupta et al., 2019). برای GSS بهینه، گوسکا و همکاران (۲۰۲۰) چهار معیار کلاسیک شامل کیفیت، هزینه، حمل و نقل و خدمات و سه معیار زیست محیطی یعنی کنترل آلودگی، محصولات سبز و مدیریت زیست محیطی را شناسایی کردند (Gegovska et al., 2020). برای کاهش آلودگی هوا و انتخاب تأمین کنندگان سبز مناسب برای ساخت مواد اولیه، کریشانکومار و همکاران (۲۰۲۰) سه معیار از نوع سود شامل تحویل محصول، کیفیت

و طراحی سبز و دو معیار از نوع هزینه، شامل هزینه کل، انرژی و استفاده از منابع را تعیین کردند (Krishankumar et al., 2020). اسر (۲۰۲۲) با توسعه تکنیک فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به محیط فازی فاصله‌ای نوع دو، از آن جهت انتخاب تامین‌کننده در صنایع تولیدی لوازم‌خانگی با در نظر گرفتن جنبه‌های سبز استفاده کردند. وی با تحلیل حساسیت سازگاری و اعتبار نتایج مدلش را نشان داد (Ecer, 2022). جدول (۱) خلاصه‌ای از مهم‌ترین پژوهش‌های انتخاب تامین‌کننده سبز را نشان می‌دهد. اگرچه مطالعات متعددی در مورد انتخاب تامین‌کنندگان سبز انجام شده است، اما هر مطالعه از یک سیستم شاخص متفاوت استفاده کرده است.

جدول شماره (۱). خلاصه‌ای از مطالعات انتخاب تامین‌کننده سبز

نویسنده (سال)	تکنیک	صنعت	مهم‌ترین معیارها
Zeng et al. (2023)	BWM، آنتروپی، مجموعه فازی فرماتین (FFS)	یک شرکت تجاری چینی	طراحی سبز، خدمت، تصویر سبز، کیفیت، مدیریت محیطی، تولید سبز، تحویل، هزینه، فناوری، کنترل آلودگی، همکاری
Hajiaghahi et al. (2023)	تاپسیس فازی فیثاغورث	تامین‌کننده‌های جعبه مقوایی	قیمت / هزینه، کیفیت تولید، طراحی زیست‌محیطی، تحویل، تصویر سبز، کنترل آلودگی و زباله، طراحی سبز، استفاده از فناوری‌های سازگار با محیط‌زیست، بسته‌بندی سبز، فعالیت بازسازی / استفاده مجدد، انعطاف‌پذیری
Nafei et al. (2024)	TOPSIS هوشمند، شبکه عصبی	۸ تامین‌کننده	اثر زیست‌محیطی، مسئولیت اجتماعی، عملکرد تحویل
Pamucar et al. (2024)	شاخص انتخاب ترجیحی (PSI)، راه‌حل سازش ترکیبی، محیط فازی فرماتین	شش تامین‌کننده یک شرکت نساجی در ترکیه	هزینه، زمان تحویل، آلودگی محیط‌زیست، تصویر محیطی، انبارداری سبز، نرخ نقص
Saghafinia et al. (2024)	FAHP، برنامه‌ریزی ترجیحی فازی (FPP)، سیستم استنتاج فازی (FIS)	یک شرکت تولید لوازم‌خانگی	کنترل و مدیریت محیطی، کاهش کربن، تصویر سبز، شایستگی سبز، بهره‌وری انرژی، بسته‌بندی سبز، قابلیت بازیافت، تحقیق و توسعه سبز
Mandal et al. (2025)	عدد زبانی فیثاغورث (PLN)، شبکه بیزی مبتنی بر سناریوی کوانتومی، آنتروپی، مولتی‌مورا	یک مثال عددی	کیفیت محصول، نفوذ اجتماعی، قابلیت ارائه خدمات، قیمت
Singh & pandey (2024)	تحلیل رابطه‌ای خاکستری	خودروهای برقی هندی	کیفیت مواد، بازیافت، تولید مجدد، آلودگی، همکاری، استانداردهای سبز، محصولات سبز، آگاهی سبز، انعطاف‌پذیری، R&D سبز
Singh, Kumar & Verma (2025)	MCDM مبتنی بر تحلیل مجموعه ناهموار با استفاده از مفهوم تسلط	شرکت‌های ساختمانی	فناوری، کیفیت، هزینه‌ها، نفوذ اجتماعی، حقوق ذی‌نفعان، میزان آلودگی، میزان مصرف منابع، طراحی زیست‌محیطی، گواهی‌نامه‌های زیست‌محیطی
Celik, Yucsan & Gul (2021)	MWM-TODIM (تصمیم‌گیری تعاملی چندمعیاره) تحت مجموعه‌های فازی بازه‌ای نوع	صنعت نساجی ترکیه	زیست‌محیطی، اجتماعی، ریسک، هزینه، قابلیت تامین‌کننده، ساختار کسب‌وکار تامین‌کننده

Wei et al. (2021)	کوداس در محیط زبانی احتمالی با عدم قطعیت، آنتروپی سینوسی	مثال عددی	شایستگی های زیست محیطی، هزینه حمل و نقل، شرایط مالی تامین کنندگان، بهبود زیست محیطی
Lu et al. (2021)	کوپراس فازی	پروژه های تولید برق با انرژی نو	مصرف منابع، هزینه تحویل، توانایی حفاظت از محیط زیست، طراحی سازگار با محیط زیست
Calik (2020)	AHP و TOPSIS فازی فیثاغورث	ماشین آلات کشاورزی	تحویل، کنترل آلودگی، کیفیت، نمایندگی زیست محیطی
Masoomi et al. (2022)	WASPAS، BWM، COPRAS فازی	انرژی های تجدیدپذیر	مصرف منابع، آموزش محیطی پرسنل، سطح خدمت، طراحی اقتصادی، تصویر سبز، سیستم مدیریت محیطی، هزینه، کنترل آلودگی، کیفیت

۲. روش شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی، از حیث ماهیت توصیفی و از نظر گردآوری اطلاعات پیمایشی است. جامعه آماری پژوهش خبرگان صنعت کاشی بودند که نمونه ای متشکل از ۱۳ نفر به صورت هدفمند و با استفاده از روش نمونه گیری گلوله برفی انتخاب شدند. روش گردآوری اطلاعات به صورت کتابخانه ای - میدانی با استفاده از اینترنت، مطالعه کتب، مقالات، مصاحبه با افراد خبره و همچنین استفاده از پرسش نامه استاندارد در هر یک از روش های دلفی فازی و FAHP بود. پژوهش در سه مرحله شناسایی معیارها، بومی سازی آن ها در صنعت کاشی و تعیین وزن آن ها انجام شد.

الف) دلفی فازی

این روش ترکیبی از روش دلفی و تئوری مجموعه های فازی است که اولین بار توسط ایشیکاوا و همکاران (۱۹۹۳) مطرح شد (Ishikawa et al., 1993). دلفی فازی تصمیم گیری را در شرایط عدم اطمینان محیطی آسان می کند و باعث صرفه جویی در هزینه و زمان می شود. در این روش با استفاده از متغیرهای زبانی و اعداد فازی مثلثی مطابق جدول (۲) نظرات خبرگان جمع آوری می شود.

جدول شماره (۲): عبارات کلامی روش دلفی فازی

متغیر زبانی	عدد فازی
خیلی زیاد	(۱، ۰/۷۵، ۰)
زیاد	(۰/۷۵، ۰/۵، ۰)
متوسط	(۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵)
کم	(۰/۲۵، ۰/۵، ۰)
خیلی کم	(۰، ۰/۲۵، ۰)

اهمیت معیار b توسط خبره a به صورت $j = (x_{ab}; y_{ab}; z_{ab})$, $a = 1, 2, 3, \dots, n; b = 1, 2, 3, \dots, m$ ارزیابی می شود. سپس وزن معیار b می شود:

$$j_b = (x_b; y_b; z_b)$$

$$x_b = \min(x_{ab}), y_b = \left(\prod_{a=1}^n y_{ab} \right)^{\frac{1}{n}}, z_b = \max(z_{ab})$$

برای محاسبه مقدار ترکیب محدب (D_b) معادلات زیر توسط بوی و همکاران (۲۰۲۰) پیشنهاد شد (Bui et al., 2020):

$$u_b = z_b - \alpha(z_b - y_b), l_b = x_b - \alpha(y_b - x_b), \forall b = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$D_b = \delta[u_b + (1 - \delta)l_b], \forall b = 1, 2, 3, \dots, m$$

برش α بر مبنای ادراک مثبت یا منفی خبرگان مقداری بین ۰ تا ۱ می‌گیرد. δ برای توصیف سطح خوش‌بینی تصمیم‌گیرنده استفاده می‌شود. در شرایط عادی برای α و δ مقدار ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود. سپس حد آستانه جهت غربال معیارها با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\gamma = \sum_{b=1}^m \left(\frac{D_b}{m} \right)$$

معیارهایی که مقدار D آن‌ها از حد آستانه بیشتر یا مساوی باشد پذیرفته و مابقی رد می‌شوند.

(ب) فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP)

این روش توسط فردی عراقی الاصل به نام توماس آل. ساعتی در دهه ۱۹۷۰ پیشنهاد شد. این تکنیک تصمیم‌گیرندگان را قادر می‌سازد تا آثار متقابل و هم‌زمان بسیاری از وضعیت‌های پیچیده و نامعین را تعیین کنند. این فرایند تصمیم‌گیرندگان را یاری می‌کند تا اولویت‌ها را بر اساس اهداف، دانش و تجربه خود تنظیم کنند، به‌نحوی که احساسات و قضاوت‌های خود را به‌طور کامل در نظر بگیرند. روش تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی به‌دلیل قابلیت‌ها و ویژگی‌های متعدد از پرکاربردترین روش‌های حل مسائل است. در تکنیک فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی ارتباط هر عنصر با سایر عناصر در ساختار سلسله‌مراتبی و در سطوح مختلف مشخص شده‌است و ارتباط هدف اصلی موجود در مساله با پایین‌ترین سطح موجود از سلسله‌مراتب تشکیل شده دقیقاً روشن می‌شود. یک مدل تصمیم‌گیری خوب باید تحمل ابهام و عدم‌اطمینان را داشته‌باشد زیرا فازی بودن و ابهام مشخصه عمومی بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری است. از آنجایی که تصمیم‌گیرندگان اغلب پیش از آنکه روش‌ها و ارقام دقیق ارائه بدهند، پاسخ‌های نامطمئن ارائه می‌دهند، تبدیل ترجیحات کیفی به تخمین‌های مستقیم معقول به نظر نمی‌رسد. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی مرسوم که نیاز به گلچین ارزش‌های انتخابی در مقایسه زوجی دارد، نمی‌تواند مناسب و کافی باشد و عدم‌اطمینان باید در همه و یا در برخی از ارزش‌های مقایسه‌ای زوجی در نظر گرفته شود. از آنجایی که رویکرد زبان‌شناختی فازی می‌تواند گرایش برآورد خوش‌بینانه / بدبینانه تصمیم‌گیرندگان را به‌حساب آورد، توصیه می‌شود برای ارزیابی برآوردهای ترجیحات، به‌جای روش مرسوم از ارزش‌های زبان‌شناختی استفاده شود که توابع عضویت‌شان معمولاً با اعداد مثلثی توصیف می‌شود. بنابراین به‌منظور پوشش ضعف AHP در تحمل ابهام و عدم‌اطمینان، در این مقاله از تئوری مجموعه‌های فازی استفاده می‌شود و از AHP فازی استفاده خواهد شد. برای استفاده از FAHP، مراحل زیر را باید پیمود.

۱. تشکیل ماتریس مقایسات زوجی و محاسبه سازگاری: با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از پرسش‌نامه، ماتریس‌های مقایسه زوجی را برای هر یک از پاسخ‌دهندگان تشکیل دهید. اولویت عناصر را می‌توان به‌وسیله محاسبه ارزش‌های ویژه و بردارهای ویژه مقایسه کرد.

$$A.W = \lambda_{\max}.W$$

که $\bar{W}$ بردار ویژه یا بردار وزنی ماتریس A و $\lambda_{\max}$ بزرگترین مقدار ویژه ماتریس A است. سپس ویژگی سازگاری ماتریس برای تضمین سازگاری قضاوتها در مقایسه زوجی بررسی و کنترل می گردد. شاخص سازگاری (CI) و نرخ سازگاری (CR) به صورت زیر تعریف می شوند.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

که n تعداد ارقام مقایسه شده در ماتریس است و RI، شاخص تصادفی بودن است، جدول (۳) مقادیر شاخص تصادفی را نشان می دهد. در صورت عدم سازگاری پاسخ دهنده باید مقادیر اولیه در ماتریس مقایسه زوجی را اصلاح نماید.

جدول شماره (۳): شاخص تصادفی بودن (RI)

N	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
RI	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵

۲. تشکیل ماتریس های مثبت فازی. امتیازهای مقایسه زوجی که توسط پاسخ دهندگان با متغیرهای زبانی بیان شده است برای تسهیل انجام محاسبات فازی به اعداد فازی مثلثی متناظرشان تبدیل می شود، که در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول شماره (۴): مقیاس تبدیل اعداد فازی مثلثی

متغیرهای زبان شناختی	اعداد فازی مثلثی	اعداد فازی معکوس
فوق العاده مهم	(۹،۹،۹)	(۱/۹، ۱/۹، ۱/۹)
بسیار مهم تا فوق العاده مهم	(۹،۸،۷)	(۱/۹، ۱/۸، ۱/۷)
بسیار مهم	(۸،۷،۶)	(۱/۸، ۱/۷، ۱/۶)
مهم تا بسیار مهم	(۷،۶،۵)	(۱/۷، ۱/۶، ۱/۵)
مهم	(۶،۵،۴)	(۱/۶، ۱/۵، ۱/۴)
نسبتاً مهم تا مهم	(۵،۴،۳)	(۱/۵، ۱/۴، ۱/۳)
نسبتاً مهم	(۴،۳،۲)	(۱/۴، ۱/۳، ۱/۲)
اهمیت یکسان تا نسبتاً مهم	(۳،۲،۱)	(۱/۳، ۱/۲، ۱/۱)
اهمیت یکسان	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)

۳. تشکیل ماتریس مقایسه زوجی گروهی. با استفاده از روش میانگین هندسی ارائه شده است، ماتریس مقایسه زوجی گروهی به دست آورده می شود.

$$\tilde{a}_{ij} = \left(\tilde{a}_{ij}^1 \otimes \tilde{a}_{ij}^2 \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{ij}^n \right)^{\frac{1}{m}}$$

$$\tilde{w}_1 = \tilde{r}_1 \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_4)^{-1}$$

۴. محاسبه وزن. با استفاده از روش COA مقدار BNP وزن های فازی محاسبه می شود.

$$BNP_{w1} = \frac{(U_{w1} - L_{w1}) + (M_{w1} - L_{w1})}{3} + L_{w1}$$

(ج) شناسایی معیارها

با جستجوی کلیدواژه‌های مرتبط و بررسی جامع پیشینه پژوهش ۱۶ معیار برای انتخاب تامین‌کننده سبز شناسایی شد. جدول (۵) این معیارها را به همراه توضیحات و برخی منابع آن‌ها نشان می‌دهد. جدول شماره (۵): معیارهای شناسایی شده از پیشینه پژوهش

معیار	توضیح	برخی منابع
انعطاف‌پذیری	تامین‌کنندگانی که انعطاف‌پذیری دارند می‌توانند با الزامات محیطی در حال تغییر و پویای بازار بهتر کنار بیایند.	Sahoo & Goswami (2024), Kazancoglu et al. (2022), Wang et al. (2022)
R&D سبز	تامین‌کنندگان باید بر تحقیقات مربوط به طرح‌ها و توسعه‌های سبز تمرکز کنند و نوآوری‌های سبز را تشویق کنند.	James et al. (2022), Singh & Pandey (2024)
محصولات سبز	تامین‌کنندگان باید سعی کنند از محصولات بازیافتی، زباله‌های غیر خطرناک و مواد اولیه سازگار با محیط‌زیست استفاده کنند و محصولات سازگار با محیط‌زیست تولید کنند.	Qin et al. (2017), Fallahpour et al. (2017), Sun & Zhu (2018)
کارایی منابع	تامین‌کنندگان استفاده از منابع و انرژی را بهینه می‌کنند.	Singh & Pandey (2024), Kotak et al. (2021), Santos et al. (2019)
آگاهی سبز	مدیریت تامین‌کنندگان باید کارکنان را در مورد محیط‌زیست آموزش دهد.	Wu et al. (2020), Qin et al. (2017), Chen et al. (2016)
همکاری	روابط قوی و بلندمدت با تامین‌کنندگان و ابتکارات زیست‌محیطی مشارکتی، تعهد به پایداری را افزایش می‌دهد.	Sahoo & Goswami (2024), Chirumalla et al. (2022), Almatar (2022)
تولید پاک	جلوگیری از ورود مواد و منابع مضر از ابتدای استفاده برای بهبود عملکرد زیست‌محیطی	Zeng et al. (2023), Sun & Zhu (2018)
طراحی زیست‌محیطی	طراحی محصول برای کاهش مصرف انرژی و مواد اولیه	Singh, Kumar & Verma (2025), Santos et al. (2019), Gupta et al. (2019)
بسته‌بندی سبز	بسته‌بندی سازگار با محیط‌زیست	Hajiaghaei et al. (2023), Uygun & Dede (2016)
فناوری	تامین‌کنندگان باید با جایگزینی فناوری‌های پیشرفته با فناوری‌های قدیمی در جهت کاهش اثرات زیست‌محیطی تلاش کنند.	Zeng et al. (2023), Govindan et al. (2017), Singh, Kumar & Verma (2025)
هزینه	انتخاب تامین‌کننده یک تصمیم استراتژیک حیاتی است که باید برای کاهش هزینه‌های عملیاتی اتخاذ شود.	Pamucar et al. (2024), Wu et al. (2020), Govindan et al. (2017)
کیفیت	اطمینان از اینکه تامین‌کنندگان استانداردهای کیفیت را رعایت می‌کنند، برای حفظ یکپارچگی زنجیره تامین حیاتی است.	Singh, Kumar & Verma (2025), Mandal et al. (2025), James et al. (2022)
سیستم مدیریت محیطی	شامل تعیین اهداف محیطی، تعریف سیاست‌ها و برنامه‌ریزی زیست‌محیطی و کنترل فعالیت‌های زیست‌محیطی	Masoomi et al. (2022), Qin et al. (2017), Gupta et al. (2019)
شایستگی‌های سبز	رعایت قوانین و مقررات محیطی همراه با گواهی‌نامه‌های معتبر نشان‌دهنده تعهد به شیوه‌های سازگار با محیط‌زیست است.	Sahoo & Goswami (2024), Mathiyazhagan et al. (2018)

Kotak et al. (2021), Almatar (2022), Mathiyazhagan et al. (2018)	اجرای راهکارهای اقتصاد چرخشی جهت جمع آوری و بازیافت ارزان و با حداقل تأثیر محیطی مواد و محصولات فرسوده و استفاده مجدد از آنها
Zeng et al. (2023), Gupta et al. (2019), Wang et al. (2022)	تصویر ذهنی مشتریان از سازگاری برند تامین کننده با محیط زیست

ه) تحلیل داده ها

تحلیل داده ها طی دو مرحله انجام شد. در مرحله اول با نظرخواهی از خبرگان صنعت کاشی و سرامیک و انجام مراحل دلفی فازی، بومی سازی معیارها انجام شد. جدول (۶) مقادیر L ، U و D حاصل از دلفی فازی را نشان می دهد. با توجه به اینکه مقدار حد آستانه ۰/۵۷ شد، موانع با مقادیر D بیشتر از آن تایید (۱۲ معیار) و مابقی (۴ معیار) رد شدند.

جدول شماره (۶): نتایج روش دلفی فازی

وضعیت	D	U	L	معیار
تایید	۰/۵۸	۰/۸۷	-۰/۳۷	انعطاف پذیری
تایید	۰/۵۷	۰/۸۵	-۰/۳۵	R&D سبز
تایید	۰/۶۲	۰/۸۱	۰/۰۶	محصولات سبز
تایید	۰/۶۸	۰/۹۲	-۰/۰۵	کارایی منابع
عدم تایید	۰/۳۸	۰/۵۰	۰/۰۰	آگاهی سبز
تایید	۰/۶۴	۰/۸۵	۰/۰۳	همکاری
عدم تایید	۰/۴۶	۰/۶۵	-۰/۱۵	تولید پاک
تایید	۰/۶۰	۰/۹۱	-۰/۴۱	طراحی زیست محیطی
عدم تایید	۰/۲۸	۰/۳۸	۰/۰۰	بسته بندی سبز
تایید	۰/۶۹	۰/۹۴	-۰/۰۷	فناوری
تایید	۰/۶۵	۰/۸۶	۰/۰۲	هزینه
تایید	۰/۶۹	۰/۹۳	-۰/۰۶	کیفیت
تایید	۰/۶۲	۰/۸۲	۰/۰۶	سیستم مدیریت محیطی
عدم تایید	۰/۳۸	۰/۵۰	۰/۰۰	شایستگی های سبز
تایید	۰/۶۴	۰/۸۴	۰/۰۳	قابلیت بازیافت
تایید	۰/۶۴	۰/۸۵	۰/۰۲	تصویر سبز

در مرحله بعد ۱۲ معیار تأیید شده از دلفی فازی وارد مرحله تحلیل سلسله مراتبی فازی جهت تعیین اوزان شدند. در این مرحله با نظرخواهی از خبرگان صنعت، داده های مورد نیاز با استفاده از پرسشنامه های مقایسات زوجی FAHP جمع آوری شد. سپس طبق مراحل گفته شده، وزن معیارها تعیین شد. جدول (۷) خروجی محاسبه اوزان معیارها را نشان می دهد.

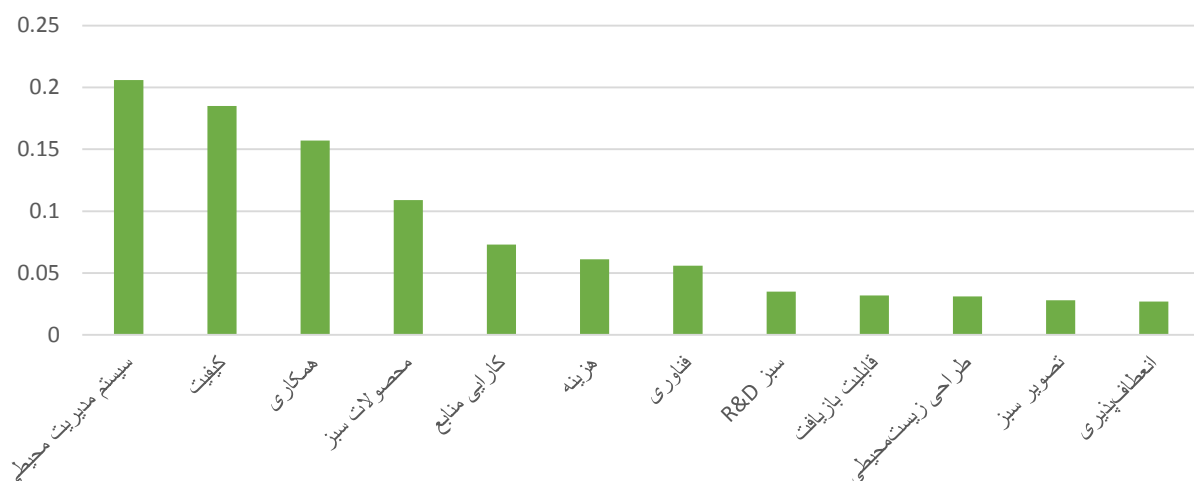
جدول شماره (۷): وزن معیارها

رتبه	وزن	معیار
۱۲	۰/۰۲۷	انعطاف پذیری
۸	۰/۰۳۵	R&D سبز
۴	۰/۱۰۹	محصولات سبز
۵	۰/۰۷۳	کارایی منابع
۳	۰/۱۵۷	همکاری
۱۰	۰/۰۳۱	طراحی زیست محیطی

فناوری	۰/۰۵۶	۷
هزینه	۰/۰۶۱	۶
کیفیت	۰/۱۸۵	۲
سیستم مدیریت محیطی	۰/۲۰۶	۱
قابلیت بازیافت	۰/۰۳۲	۹
تصویر سبز	۰/۰۲۸	۱۱

۳. نتایج و بحث

این مطالعه مجموعه‌ای جامع از معیارهای شاخص برای انتخاب تامین‌کننده سبز را ایجاد کرد. در این پژوهش تلاش شد تا معیارهای انتخاب تامین‌کننده سبز در صنعت کاشی شناسایی، بومی‌سازی و وزن‌دهی شوند. بدین‌منظور ۱۶ معیار شناسایی و بر اساس روش دلفی فازی بومی‌سازی و با روش AHP فازی وزن‌دهی شدند. با روش دلفی فازی، چهار معیار آگاهی سبز، تولید پاک، بسته‌بندی سبز و شایستگی‌های سبز تایید نشدند و دوازده معیار تایید شد. نمودار (۱) نتیجه وزن این دوازده معیار را که با روش FAHP محاسبه شده نشان می‌دهد.



نمودار شماره (۱): نتیجه اوزان معیارها

همان‌طور که مشخص است معیارهای سیستم مدیریت محیطی، کیفیت و همکاری بیشترین وزن را در بین معیارهای انتخاب تامین‌کننده سبز دارند. این سه معیار مجموعاً ۵۴/۸ درصد اهمیت را دارند. معیار سیستم مدیریت محیطی به تعیین اهداف زیست‌محیطی، تعریف سیاست‌ها و برنامه‌ریزی و کنترل فعالیت‌های زیست‌محیطی اشاره دارد. تامین‌کنندگان می‌توانند با ارتقا قابلیت‌های مدیریت زیست‌محیطی، رقابت‌پذیری خود را بهبود بخشند. تامین‌کنندگان صنعت کاشی باید پایداری را در استراتژی‌های اصلی کسب و کار خود ادغام کنند و اطمینان حاصل کنند که شیوه‌های سبز به‌عنوان یک سرمایه‌گذاری بلندمدت در نظر گرفته می‌شود. این موضوع نیازمند یک رویکرد استراتژیک و تعهد به پایداری در تمام سطوح سازمان است. پژوهش زنگ و همکاران (۲۰۲۳) نیز نشان داد که تصمیم‌گیرندگان اولویت بالایی برای مدیریت زیست‌محیطی قائل هستند و شرکت‌ها با وسواس بیشتری سیاست‌های زیست‌محیطی تامین‌کنندگان مانند نحوه مدیریت زباله، میزان مصرف انرژی، میزان انتشار آلودگی و استفاده یا عدم‌استفاده از مواد پایدار را بررسی می‌کنند. محققانی مانند آلکاراز و همکاران (۲۰۲۲) بر اهمیت سیستم مدیریت محیطی تامین‌کننده به‌عنوان یک معیار حیاتی در فرایند انتخاب تأکید کردند (Alcaraz et al., 2022).

کیفیت محصول یک معیار ضروری است که نه تنها چارچوب تضمین کیفیت تأمین کننده، بلکه ظرفیت آن ها را برای تولید محصولات سبز و از نظر زیست محیطی پایدار که مطابق با الزامات صنعت هستند را نشان می دهد. طبق تحقیقات اخیر، بخش تولید در کشورهای در حال توسعه تأکید ویژه ای بر لزوم حفظ کیفیت محصول دارد. این درک، رویکرد خاصی را برجسته می کند که می تواند برای بهبود سیستماتیک سیستم های زنجیره تأمین اتخاذ شود (Mandal et al., 2025). همچنین اطمینان از اینکه تامین کنندگان استانداردهای کیفیت را رعایت می کنند، برای حفظ یکپارچگی زنجیره تأمین حیاتی است. کیفیت به انطباق نیازهای مشتری با ویژگی های محصول اشاره دارد و این امر بدون ارائه مواد، محصولات و خدمات با کیفیت توسط تامین کنندگان شدنی نیست. کیفیت جزء سه معیاری است که بیشترین فراوانی را در پژوهش های انتخاب تأمین کننده دارد (Hajiaghahi et al., 2023). در پژوهش های خوکار و همکاران (۲۰۲۲)، ییلدیزبازی و آریوز (۲۰۲۲) نیز کیفیت به عنوان معیار مهمی در انتخاب تامین کننده شناسایی شد (Khokhar et al., 2022; Yildizbasi & Arioz, 2022).

تمایل به همکاری در طرح های سبز نیز از عوامل تأثیرگذار است. تامین کنندگانی که پذیرای خلق مشترک راه حل های سبز و به اشتراک گذاشتن اهداف پایداری با مشتریان خود هستند، به طور فزاینده ای ارزشمند می شوند. روابط مشارکتی، همان طور که توسط کاندامپولی و همکاران (۲۰۲۳) تأکید شده است، می تواند نوآوری و توسعه شیوه های زنجیره تأمین سبز را هدایت کند (Kandampully et al., 2023). روابط قوی و بلندمدت با تامین کنندگان و ابتکارات زیست محیطی مشارکتی، تعهد به پایداری را افزایش می دهد. اگر چه در اجرای انتخاب تامین کنندگان سبز صنعت کاشی پیشرفت هایی حاصل شده است، اما هنوز چالش هایی شامل دسترسی و دقت داده ها، پیچیدگی ارزیابی، نیاز به ایجاد تعادل بین اهداف اقتصادی و زیست محیطی، مقاومت تامین کننده و عدم وجود معیارهای استاندارد وجود دارد. غلبه بر این چالش ها برای تحقق کامل GSS ضروری است. ساهو و گوسوامی (۲۰۲۴) بر همکاری جهت حل این چالش ها تأکید کردند (Sahoo & Goswami, 2024). از طرف دیگر با توجه به اینکه سرمایه گذاری در فناوری ها و شیوه های سبز می تواند برای تامین کنندگان پرهزینه باشد، همکاری و اشتراک منابع می تواند به کاهش بار مالی بر دوش تامین کنندگان کمک کند.

اگرچه نتایج این مطالعه می تواند ارزش کاربردی برای GSS ارائه دهد، اما محدودیت هایی در پژوهش وجود دارد. ارزیابی تامین کنندگان سبز شامل شاخص های مختلفی در ابعاد متفاوت است که هر کدام زیر معیارهای خود را دارند. با این حال مجموعه شاخص های ساخته شده پژوهش تمام زیر معیارها را پوشش نمی دهد. پژوهش های آتی می تواند معیارهای مرتبط دیگری را برای ایجاد یک سیستم شاخص جامع تر اضافه کند. در پژوهش حاضر نظر همه خبرگان هم در مرحله دلفی فازی و هم در مرحله وزن دهی یکسان در نظر گرفته شد در حالی که آن ها از نظر تجربه، سابقه و تحصیلات متفاوت هستند. توسعه و استفاده از تکنیک های چندمعیاره که وزن خبرگان را نیز لحاظ می کند می تواند به بهبود نتایج پژوهش کمک کند. در پژوهش حاضر تنها شناسایی، بومی سازی و وزن دهی به معیارها انجام شد. پیشنهاد می شود در پژوهشی دیگر تامین کنندگان یک تولیدکننده کاشی خاص با این معیارها ارزیابی و رتبه بندی آن ها با یکی از تکنیک های تصمیم گیری انجام شود. بررسی پیشینه پژوهش نشان می دهد که مساله انتخاب تامین کننده سبز در بسیاری از صنایع خصوصاً شرکت های خدماتی مغفول مانده است. با توجه به اینکه از صنعتی به صنعت دیگر معیارها و اهمیت آن ها متفاوت است، در پژوهش های آتی می توان شناسایی شاخص ها و توسعه تامین کننده سبز در این کاربردها را مورد بررسی قرار داد.

۴- منابع

Alcaraz, G., Díaz Reza, J. L., Arredondo Soto, J. R., Hernández Escobedo, K. C., Happonen, G. A., et al. (2022). Effect of green supply chain management practices on environmental performance: Case of Mexican manufacturing companies. *Mathematics*, 10(11), 1877.

- Almatar, K. M. (2022). Transit-oriented development in Saudi Arabia: Riyadh as a case study. *Sustainability*, 14(23).
- Baki, R. (2022). An Integrated Multi-criteria Structural Equation Model for Green Supplier Selection. *International Journal Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 9, 1063–1076.
- Bui, T. D., Tsai, F. M., Tseng, M. L. & Ali, M. H. (2020). Identifying sustainable solid waste management barriers in practice using the fuzzy Delphi method. *Resources, Conservation & Recycling*, 154, 1-14.
- Calik, A. (2020). A novel Pythagorean fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodology for green supplier selection in the Industry 4.0 era. *Soft Computing*, 20, 9.
- Celik, E., Yucesan, M. & Gul, M. (2021). Green supplier selection for textile industry: a case study using BWM-TODIM integration under interval type-2 fuzzy sets. *Environmental Science and Pollution Research*, 21, 35.
- Chirumalla, K., Reyes, L. G., & Toorajipour, R. (2022). Mapping a circular business opportunity in electric vehicle battery value chain: A multi-stakeholder framework to create a win-win-win situation. *Journal of Business Research*, 145, 569–582.
- Ecer, F. (2022). Multi-criteria decision making for green supplier selection using interval type-2 fuzzy AHP: a case study of a home appliance manufacturer. *Operational Research*, 22, 7.
- Fallahpour, A., Udoncy Olugu, E., Nurmaya Musa, S., Yew Wong, K., & Noori, S. (2017). A decision support model for sustainable supplier selection in sustainable supply chain management. *Computers and Industrial Engineering*, 105, 391–410.
- Fazlollahtabar, H.; Kazemitash, N. (2021). Green supplier selection based on the information system performance evaluation using the integrated Best-Worst Method. *Facta Universitatis Series: Mechanical Engineering*, 19, 345–360.
- Gegovska, T., Koker, R., Caka, T. (2020). Green supplier selection using fuzzy multiple-criteria decision- making methods and artificial neural networks. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 16, 5.
- Goren, H. G. (2018). A decision framework for sustainable supplier selection and order allocation with lost sales. *Journal of Cleaner Production*, 183, 1156-1169.
- Govindan K., Kadzinski, M., Sivakumar, R. (2017). Application of a novel PROMETHEE-based method for construction of a group compromise ranking to prioritization of green suppliers in food supply chain. *Omega* 71:129–145.
- Gupta, S., Soni, U., Kumar, G. (2019). Green supplier selection using multi-criterion decision making under fuzzy environment: a case study in automotive industry. *Computer & Industrial Engineering*, 136, 663–680.
- Gupta, H., Barua, M. K. (2017). Supplier selection among SMEs on the basis of their green innovation ability using BWM and fuzzy TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*, 152, 242–258.
- Chen, H. M. W., Chou, S. Y., Luu, Q. D. & Yu, T. H. K. (2016). A fuzzy MCDM approach for green supplier selection from the economic and environmental aspects, *Mathematical Problems in Engineering*, 20, 3.
- Hajiaghaei, K., M., Cenik, Z., Erdebilli, B., Ozdemir, Y., S. & Gholian, J., F. (2023). Pythagorean Fuzzy TOPSIS Method for Green Supplier Selection in the Food Industry. *Expert Systems With Applications*, 224.
- Ishikawa, A., Amagasa, M., Shiga, T., Tomzawa, G., Tatsuta, R. & Mieno, H. (1993). The max-min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration. *Fuzzy Sets System*, 55 (3).
- James, A. T., Kumar, G., Pundhir, A., Tiwari, S., Sharma, R., & James, J. (2022). Identification and evaluation of barriers in implementation of electric mobility in India. *Research in Transportation Business and Management*, 43, 100757.
- Kandampully, J., Bilgihan, A., Van Riel, A. C., & Sharma, A. (2023). Toward holistic experience-oriented service innovation: Co-creating sustainable value with customers and society. *Cornell Hospitality Quarterly*, 64(2), 161-183.

- Kang, X., Xu, X. J. & Yang, Z. L. (2022). Evaluation and selection of green suppliers for papermaking enterprises using the interval basic probability assignment-based intuitionistic fuzzy set. *Complex & Intelligent Systems*, 8, 4187–4203.
- Kazancoglu, I., Ozbiltekin-Pala, M., Kumar Mangla, S., Kazancoglu, Y., & Jabeen, F. (2022). Role of flexibility, agility and responsiveness for sustainable supply chain resilience during COVID-19. *Journal of Cleaner Production*, 362, 132431.
- Khokhar, M., Zia, S., Islam, T., Sharma, A., Iqbal, W., & Irshad, M. (2022). Going green supply chain management during covid-19, assessing the best supplier selection criteria: A triple bottom line (tbl) approach. *Problemy Ekorozwoju*, 17(1).
- Kotak, Y., Marchante Fernández, C., Canals Casals, L., Kotak, B. S., Koch, D., Geisbauer, C., & Schweiger, H. G. (2021). End of electric vehicle batteries: Reuse vs. recycle. *Energies*, 14(8), 2217.
- Krishankumar, R., Gowtham, Y., Ahmed, I., Ravichandran, K.S., Kar, S. (2020). Solving green supplier selection problem using q-rung orthopair fuzzy-based decision framework with unknown weight information. *Applied Soft Computing*, 94, 106431.
- Lin, C.T., Chen, C.B., Ting, Y.C. (2011). A green purchasing model by using ANP and LP methods. *Journal of Testing and Evaluation*, 40 (2), 203-210.
- Liou J., Tamosaitiene, J., Zavadskas, E. K., Tzeng, G. H. (2016). New hybrid COPRAS-G MADM model for improving and selecting suppliers in green supply chain management. *International Journal of Production Research*, 54(1), 114–134.
- Liu, P., Pan, Q., Xu, H. X., Zhu, B.Y. (2022). An Extended QUALIFLEX Method with Comprehensive Weight for Green Supplier Selection in Normal q-Rung Ortho pair Fuzzy Environment. *International Journal Fuzzy System*. 2022, 24, 2174–2202.
- Lu, J., Zhang, S., Wu, J. & Wei, Y. (2021). Copras Method for Multiple Attribute Group Decision Making under Picture Fuzzy Environment and their Application to Green Supplier Selection. *Technological and Economic Development of Economy*, 27, 2, 369-385.
- Mandal, P., Masic, L., Kalampakas, A., Allahviranloo, T. & Samanta, S. (2025). Pythagorean Linguistic Information-based Green Supplier Selection using Quantum-based Group Decision-making Methodology and the MULTIMOORA Approach. *Artificial Intelligence Review*, 58, 199.
- Masoomi, B., Ghasemian, I. S., Fatehi, M., Yildirm, F. & Ghorbani, S. (2022). Strategic supplier selection for renewable energy supply chain under green capabilities (fuzzy BWM-WASPAS-COPRAS approach). *Energy Strategy Reviews*, 40, 10.
- Mathiyazhagan, K., Sudhakar, S. & Bhalotia, A. (2018). Modeling the criteria for selection of suppliers towards green aspect: a case in Indian automobile industry. *Opsearch*, 55(1), 65–84.
- Min, H. & Kim, I. (2012). Green supply chain research: past, present, and future. *Logistics Research*, 4, 39–47.
- Nafei, A., Azizi, S. P., Edalatpanah, S. A. & Huang, C. Y. (2024). Smart TOPSIS: A Neural Network-Driven TOPSIS with Neutrosophic Triplets for Green Supplier Selection in Sustainable Manufacturing. *Expert Systems With Applications*, 255.
- Nguyen, N. B. T., Lin, G. H., Dang, T. T. A. (2021). Two phase integrated fuzzy decision-making framework for green supplier selection in the coffee bean supply chain. *Mathematics*, 9, 1923.
- Pamucar, D., Ulutas, A., Topal, A., Karamaşa, C. & Ecer, F. (2024). Fermatean fuzzy framework based on preference selection index and combined compromise solution methods for green supplier selection in textile industry. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 11, 1.
- Park, K., Kremer, G. E. O. & Ma, J. (2018). A regional information-based multiattribute and multi-objective decision-making approach for sustainable supplier selection and order allocation. *Journal of Cleaner Production*, 34, 7.
- Qin, J., Liu X., Pedrycz, W. (2017). An extended TODIM multi-criteria group decision making method for green supplier selection in interval type-2 fuzzy environment. *European Journal of Operations Research*, 258(2), 626–638.
- Rajesh, R., Ravi, V. (2015). Supplier selection in resilient supply chains: A grey relational analysis approach. *Journal of Cleaner Production*, 86, 343–359.

- Saghafinia, A., Fallahpour, A., Asadpour, M. & Abedian, M. (2024). Green Supplier Selection in a Fuzzy Environment: FIS and FPP Approaches. *Cybernetics and Systems*, 55, 5, 1285-1310.
- Sahoo, S. K. & Goswami, S. S. (2024). Green Supplier Selection using MCDM: A Comprehensive Review of Recent Studies. *Spectrum of Engineering and Management Sciences*, 2, 1, 1-16.
- Sahu, A. K., Sharma, M., Raut, R. D., Sahu, A. K., Sahu, N. K., Antony, J., & Tortorella, G. L. (2023). Decision-making framework for supplier selection using an integrated MCDM approach in a lean-agile-resilient-green environment: evidence from Indian automotive sector. *The TQM Journal*, 35, 4, 964-1006.
- Santos, B. M., Godoy, L. P. & Campos, L. M. S. (2019). Performance evaluation of green suppliers using entropy-TOPSIS-F. *Journal of Cleaner Production*, 207, 498-509.
- Sharma, V. K., Chandna, P. & Bhardwaj, A. (2017). Green supply chain management related performance indicators in agro industry: A review. *Journal of Cleaner Production*, 141, 1194-1208.
- Shaw, K., Shankar, R., Yadav, S. S. & Thakur, L. S. (2012). Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain. *Expert System Application*, 39 (9), 8182-8192.
- Singh, A., Kumar, V. & Verma, P. (2025). Sustainable supplier selection in a construction company: a new MCDM method based on dominance-based rough set analysis. *Construction Innovation*, 25, 2, 328-362.
- Singh, G. & Pandey, A. (2024). Environmental sustainability integrated supplier selection in electric vehicle supply chains: a grey relational analysis approach. *Environment, Development and Sustainability*, 24, 9.
- Sun, J., Zhu, Q. (2018). Organizational green supply chain management capability assessment: a hybrid group decision making model application. *IEEE Engineering Management Review*, 46(1), 117-127.
- Tavana, M., Shaabani, A., Santos-Arteaga, F. J., Valaei, N. (2021). An integrated fuzzy sustainable supplier evaluation and selection framework for green supply chains in reverse logistics. *Environment Science Pollution Research*, 28, 53953-53982.
- Tuni, A., Ijomah, W. L., Gutteridge, F., Mirpourian, M., Pfeifer, S. & Copani, G. (2023). Risk assessment for circular business models: A fuzzy Delphi study application for composite materials. *Journal of Cleaner Production*, 389.
- Uygun, O. & Dede, A. (2016). Performance evaluation of green supply chain management using integrated fuzzy multi-criteria decision making techniques. *Computer Industrial Engineering*, 102, 502-511.
- Wang, C. N., Nguyen, T. L., Dang, T. T. (2022). Two-Stage Fuzzy MCDM for Green Supplier Selection in Steel Industry. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 33, 1245-1260.
- Wei, G., Wu, J., Guo, Y. & Wei, G. (2021). Green Supplier Selection Based on Codas Method in Probabilistic Uncertain Linguistic Environment. *Technological and Economic Development of Economy*, 27, 3, 530-549.
- Wu, Y., Xu, C., Huang, Y., & Li, X. (2020). Green supplier selection of electric vehicle charging based on Choquet integral and type-2 fuzzy uncertainty. *Soft Computing*, 24(5), 3781-3795.
- Yildizbasi, A. & Arioz, Y. (2022). Green supplier selection in new era for sustainability: A novel method for integrating big data analytics and a hybrid fuzzy multi-criteria decision making. *Soft Computing*, 26(1).
- Yousefi, S., Jahangoshai, R. M. & Solimanpur, M. (2019). Supplier selection and order allocation using two-stage hybrid supply chain model and game-based order price. *Operational Research International Journal*, 19, 5.
- Zeng, S., Chen, W., Gu, J. & Zhang, E. (2023). An Integrated EDAS Model for Fermatean Fuzzy Multi-Attribute Group Decision Making and Its Application in Green-Supplier Selection. *Systems*, 11, 162.

- Zhu, Q., Sarkis, J., & Lai, K. H. (2007). Initiatives and outcomes of green supply chain management implementation by Chinese manufacturers. *Journal of environmental management*, 85(1), 179-189.
- Zouggari, A., Benyoucef, L. (2012). Simulation based fuzzy TOPSIS approach for group multi-criteria supplier selection problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25 (3), 507-519.

Developing Green Supplier Selection Criteria in the Tile Industry Using a Fuzzy Delphi and Fuzzy AHP Approach

Reza Soleymani

Department of Management, Vali-e-asr University, Rafsanjan, Iran

Email: r.soleymani@vru.ac.ir

Abstract

Traditionally, supplier selection has been based on economic factors, but the evaluation and selection of green suppliers have become vital due to increasing environmental concerns and the need for green supply chain management. The lack of standard criteria and methods for selecting green suppliers makes consistent comparison difficult. This study aims to provide a framework for identifying, localizing, and prioritizing green supplier evaluation and selection criteria in the tile industry. Initially, 16 criteria were identified by examining the research background and literature. In the next step, 12 criteria were confirmed by interviewing tile industry experts using the fuzzy Delphi method. Finally, the weighting and ranking of the criteria were conducted by performing pairwise comparisons based on the steps of the fuzzy analytic hierarchy process. The results show that environmental management system criteria, quality, and cooperation are the most important indicators for evaluating green suppliers in the tile industry. Additionally, tile companies should consider green product criteria, resource efficiency, cost, technology, green R&D, recyclability, eco-design, green image, and flexibility. The research findings provide valuable insights for policymakers, industry managers, and stakeholders in developing a green supplier selection model for tile companies.

Keywords: Green supplier selection, green supply chain management, fuzzy analytic hierarchy process, fuzzy Delphi.