



شناسایی و رتبه بندی شاخص های ارزیابی تاب آوری تامین کنندگان در صنعت رنگ ساختمانی با استفاده از روش بهترین - بدترین

مهدی جهانی

گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه صنعتی شاهرود، سمنان، ایران

محمد برزگر

گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

معصومه مسی بیدگلی (نویسنده مسئول)

استادیار، گروه مهندسی صنایع دانشکده فنی و مهندسی گلپایگان، دانشگاه صنعتی اصفهان، گلپایگان، ایران

Email: m.messi@iut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۲ * تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۰۹/۲۲

چکیده

در محیط کسب و کار، صنایع با ریسک ها و مشکلات فراوانی مواجه هستند و انتخاب تامین کنندگان مناسب و در عین حال تاب آور می تواند به تداوم کسب و کار در صورت بروز اختلال، افزایش توان رقابتی شرکت و بهبود رضایت مشتری منجر شود. از این رو، توجه به تاب آوری تامین کنندگان، به ویژه در صنعت رنگ سازی، از اهمیت زیادی برخوردار است. نوسان نرخ ارز در بازار و مسائل مربوط به تحریم ها از مهم ترین چالش های این صنعت به شمار می روند که موجب بروز مشکلات متعدد در تامین مواد اولیه می شوند. با توجه به اهمیت موضوع، هدف پژوهش حاضر شناسایی و رتبه بندی شاخص های تاب آوری در صنعت رنگ ساختمانی ایران است. در گام نخست، شاخص ها از طریق پژوهش های پیشین شناسایی شدند. سپس برای تأیید شاخص های شناسایی شده، نظرخواهی از ۱۰ نفر از خبرگان صنعت رنگ سازی با استفاده از پرسشنامه دلفی فازی انجام گرفت. از میان ۲۳ شاخص اولیه، ۱۷ شاخص تأیید نهایی شدند. در گام دوم، به منظور رتبه بندی شاخص های تأیید شده، پرسشنامه ای مبتنی بر روش بهترین-بدترین (BWM) تدوین و میان ۱۰ نفر از خبرگان صنعت رنگ توزیع و جمع آوری شد. نظرات این خبرگان برای رتبه بندی نهایی هر یک از شاخص ها مورد استفاده قرار گرفت. یافته های تحقیق نشان داد که شاخص های اصلی تاب آوری تامین کنندگان در صنعت رنگ ساختمانی شامل عواملی همچون سطح خدمات و رضایت مشتری، چابکی و روش های مدیریت موجودی هستند که به ترتیب از مهم ترین شاخص ها در صنعت رنگ سازی محسوب می شوند.

کلمات کلیدی: تاب آوری تامین کنندگان، تصمیم گیری چندمعیاره، روش بهترین-بدترین، رویکرد دلفی فازی، صنعت رنگ ساختمانی.

۱- مقدمه

صنعت رنگ ساختمانی یکی از بخش‌های مهم و اثرگذار در حوزه ساخت‌وساز به شمار می‌رود و علاوه بر حفظ و افزایش دوام سازه‌ها، نقش مهمی در زیبایی‌بخشی و ارتقای کیفیت محیط ساخته‌شده ایفا می‌کند (Pham et al., 2022). با وجود اهمیت این صنعت، پیچیدگی‌های روزافزون محیط کسب‌وکار، وابستگی به مواد اولیه وارداتی و نوسانات اقتصادی، سازمان‌های فعال در این حوزه را با چالش‌های جدی در زمینه تأمین پایدار مواجه کرده است. افزایش عدم قطعیت‌ها، جهانی‌شدن شبکه‌های تأمین، محدودیت‌های واردات و بروز اختلالات پیش‌بینی‌نشده همچون نوسانات ارزی، مشکلات لجستیکی، بحران‌های طبیعی، تحریم‌ها و حملات سایبری، ریسک‌های زنجیره تأمین را تشدید کرده و مدیریت اثربخش این ریسک‌ها را به یک ضرورت حیاتی برای سازمان‌ها تبدیل کرده است (Hajian Heydari et al., 2022).

صنعت رنگ‌سازی به دلیل ماهیت شیمیایی مواد اولیه و فرآیندهای تولید، با انواع ریسک‌های عملیاتی و ایمنی روبه‌رو است. خطراتی مانند آتش‌سوزی ناشی از واکنش‌های شیمیایی، آسیب‌های تنفسی و پوستی ناشی از مواد شیمیایی، و صدمات فیزیکی ناشی از کار با تجهیزات سنگین، اهمیت مدیریت پیشگیرانه، آموزش‌های ایمنی و کنترل ریسک را برجسته می‌سازد (Akhter et al., 2025). در چنین فضایی، بهره‌گیری از زنجیره تأمین تاب‌آور که در مواجهه با اختلالات، توانایی مقاومت، واکنش سریع و بازگشت کارآمد به شرایط پایدار را داشته باشد، به‌عنوان راهبردی ضروری مطرح می‌شود (Ganguly et al., 2018). از این منظر، انتخاب تأمین‌کنندگانی که توان پاسخ‌گویی به‌موقع، حفظ کیفیت، انعطاف‌پذیری عملیاتی و مدیریت مناسب ریسک را دارند، نقش بسیار مهمی در تداوم فعالیت سازمان‌ها، کاهش هزینه‌های ناشی از وقفه در تولید و افزایش رضایت مشتریان ایفا می‌کند (Rahimi et al., 2022 2023 Rahnay Bonab et al.).

مرور ادبیات نشان می‌دهد که با وجود رشد پژوهش‌ها در حوزه تاب‌آوری زنجیره تأمین، تاکنون مطالعه‌ای که به‌صورت اختصاصی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان صنعت رنگ را، به‌ویژه در ایران، بررسی کرده باشد، انجام نشده است. همچنین شاخص‌های تاب‌آوری متناسب با ویژگی‌های خاص این صنعت، شامل وابستگی بالا به واردات، حساسیت شیمیایی فرآیند تولید و نوسانات ارزی، به‌صورت یکپارچه شناسایی و تحلیل نشده‌اند. علاوه بر این، روش‌های ترکیبی مبتنی بر دلفی فازی و BWM که بتوانند نظرات خبرگان را به‌صورت واقع‌بینانه مدل‌سازی کرده و وزن‌دهی دقیق‌تری ارائه دهند، در این صنعت به کار نرفته‌اند. این خلأ پژوهشی ضرورت توسعه یک چارچوب جامع و بومی‌سازی‌شده برای شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های تاب‌آوری تأمین‌کنندگان را آشکار می‌سازد.

در این راستا، پژوهش حاضر با هدف شناسایی و رتبه‌بندی شاخص‌های تاب‌آوری تأمین‌کنندگان صنعت رنگ ساختمانی انجام شده است. برای دستیابی به این هدف، ابتدا شاخص‌های اولیه از طریق مرور منظم ادبیات استخراج می‌گردد. سپس به‌منظور تأیید و پالایش این شاخص‌ها، نظرات خبرگان از طریق روش دلفی فازی جمع‌آوری می‌شود. در نهایت، جهت وزن‌دهی و اولویت‌بندی عوامل، از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره بهترین-بدترین (BWM) استفاده می‌شود. به‌کارگیری این رویکرد ترکیبی، امکان دستیابی به مدلی دقیق، کارآمد و متناسب با شرایط واقعی صنعت رنگ را فراهم می‌سازد و می‌تواند راهنمایی مؤثر برای مدیران تأمین در جهت تقویت تاب‌آوری زنجیره تأمین باشد.

الف) مبانی نظری و پیشینه پژوهش

تاب‌آوری زنجیره تأمین مفهومی چندبعدی است که به توانایی زنجیره در پیش‌بینی، مقاومت، واکنش، بازیابی و تطابق با اختلالات اشاره دارد. در محیط‌های پرتلاطم کنونی، عواملی همچون نوسانات قیمتی، محدودیت‌های وارداتی، مشکلات لجستیکی، تحریم‌ها، تغییرات تقاضا و بحران‌های طبیعی، اهمیت تاب‌آوری را برای سازمان‌ها افزایش داده است. شاخص‌هایی نظیر چابکی، افزونگی، قابلیت اطمینان، انعطاف‌پذیری، سرعت، مدیریت کیفیت، توان مالی، همکاری، مشاهده‌پذیری و سطح خدمات مشتری در ادبیات به‌عنوان عناصر کلیدی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان شناخته شده‌اند.

پژوهش‌های متعددی به بررسی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان پرداخته‌اند. Rostami (2023) با تأکید بر افزایش اختلالات پیش‌بینی‌نشده، اهمیت ارزیابی تاب‌آوری در زنجیره تأمین را برجسته کرده و عواملی همچون افزونگی، انعطاف‌پذیری و اعتماد میان اعضای زنجیره را از مؤلفه‌های اساسی تاب‌آوری معرفی کرده است.

Jafaranjad Chagoshi et al. (2016) با استفاده از مدل‌سازی تفسیری، نشان دادند که رقابت شدید و فشارهای محیطی،

آسیب‌پذیری زنجیره تأمین را افزایش داده و معیارهایی مانند قابلیت اتکا، سرعت، مدیریت کیفیت و شفافیت عملکرد برای تحقق تاب‌آوری تأمین‌کنندگان ضروری هستند. این شاخص‌ها در پژوهش حاضر نیز در میان معیارهای اصلی قرار دارند.

Hajian Heydari et al. (2022) در صنعت سنگ ساختمانی بیان کردند که توان مالی، چابکی، مدیریت کیفیت و پایداری به تعهدات از عوامل مهم تقویت تاب‌آوری تأمین‌کنندگان هستند. این یافته‌ها با بسیاری از شاخص‌های مورد استفاده در مطالعه حاضر همچون قدرت مالی، چابکی و قابلیت اطمینان همخوانی دارد.

Bowen and Siegler (2024) نیز با ارائه مدل Nexus نقش مشاهده‌پذیری و شفافیت زنجیره را در شناسایی نقاط آسیب‌پذیر و افزایش تاب‌آوری تأمین‌کنندگان نشان دادند. این موضوع با شاخص‌هایی نظیر مدیریت دانش و همکاری مرتبط است.

Rahimi et al. (2022) در صنعت غذایی نشان دادند که چابکی، رویکردهای ناب و پایداری از مؤثرترین عوامل در انتخاب تأمین‌کنندگان تاب‌آور هستند. این نتایج اهمیت مدیریت ریسک و انعطاف‌پذیری را تأیید می‌کند.

Rajesh & Ravi (2015) نیز با استفاده از تحلیل رابطه خاکستری، شاخص‌هایی همچون زمان تأخیر، انعطاف‌پذیری حمل‌ونقل، قابلیت اطمینان و پاسخ‌گویی سریع را از مؤلفه‌های اصلی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان معرفی کردند.

Piprani et al. (2020) به این نتیجه رسیدند که چابکی، انعطاف‌پذیری، مدیریت موجودی و همکاری میان اعضای زنجیره از مهم‌ترین مؤلفه‌های تاب‌آوری هستند؛ شاخص‌هایی که در پژوهش حاضر نیز در میان معیارهای نهایی دیده می‌شوند.

Mohammed et al. (2018) در زمینه تأمین‌کنندگان سبز و تاب‌آور نشان داد که افزونگی، انعطاف‌پذیری حمل‌ونقل، مدیریت کیفیت و سرعت واکنش، از عوامل ضروری برای تاب‌آوری تأمین‌کنندگان هستند. این نکات در شاخص‌های اولیه پژوهش حاضر نیز انعکاس یافته است.

Han et al. (2020) با مرور نظام‌مند شاخص‌های تاب‌آوری بیان کردند که قابلیت اتکا، همکاری، توسعه دانش سازمانی، سرعت و انعطاف‌پذیری از عوامل کلیدی هستند. این یافته‌ها همخوانی بسیاری با شاخص‌های تحقیق حاضر دارند.

Özfirat et al. (2017) با مدل‌سازی ماتریس ریسک و تحلیل درخت رویداد، نشان دادند که انعطاف‌پذیری تولید و توان مدیریتی نقش مهمی در ارتقای تاب‌آوری سازمان‌ها دارند.

Pham et al. (2022) با استفاده از تئوری خاکستری به ارزیابی معیارهای انتخاب تأمین‌کنندگان پرداختند و معیارهایی مانند مدیریت کیفیت، قابلیت اطمینان، انعطاف‌پذیری و سطح خدمات مشتری را برجسته کردند. این معیارها با بسیاری از شاخص‌های پژوهش حاضر همسو هستند.

Akhter et al. (2025) نیز با بررسی اثرات زیست‌محیطی رنگ‌ها، بر اهمیت توجه به پایداری در فرآیندهای صنعت رنگ تأکید کرده است.

Rezaei (2015) روش بهترین-بدترین (BWM) را معرفی کرد و نشان داد این روش نسبت به روش‌های مرسوم MCDM، دقت بیشتری در وزن‌دهی و سازگاری مقایسات دارد. Jafaranjad Chagoshi et al. (2016) نیز این روش را برای شناسایی و رتبه‌بندی شاخص‌های تاب‌آوری تأمین‌کنندگان استفاده کردند.

Rahnamay Bonab et al. (2023) با استفاده از BWM و مجموعه‌های فازی کروی، نشان دادند که این روش برای ارزیابی تأمین‌کنندگان در محیط‌های پرریسک، کارایی بالایی دارد. Afrasiabi et al. (۲۰۲۲) برای انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار و تاب‌آور، یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیبی فازی ارائه کردند. این روش شامل استفاده از تکنیک بهترین-بدترین فازی برای تخصیص وزن به معیارها و ادغام روش‌های تحلیل رابطه خاکستری و تاپسیس به منظور ارزیابی تأمین‌کنندگان در محیط‌های فازی بود. پژوهشگران چهار معیار اصلی و ۱۶ زیرمعیار را در نظر گرفتند و کنترل آلودگی، سیستم‌های مدیریت زیست‌محیطی و آگاهی از ریسک را به‌عنوان مهم‌ترین معیارها شناسایی نمودند. این مطالعه، اهمیت کاربرد روش‌های ترکیبی و فازی در ارزیابی تأمین‌کنندگان تاب‌آور را تأیید کرده و به‌طور مستقیم با چارچوب پژوهش حاضر مرتبط است.

Ishikawa et al. (1993) روش دلفی فازی که برای غربالگری شاخص‌ها در پژوهش حاضر استفاده شده است، نخستین بار توسط Shishodia et al. (2019) و Chen et al. (2017) ارائه شد و بعدها در مطالعاتی مانند Shishodia et al. (2019) برای ارزیابی تاب‌آوری زنجیره تأمین به‌کار گرفته شد. بهره‌گیری از این روش امکان انعکاس دقیق‌تر نظرات زبانی و مبهم خبرگان را فراهم می‌کند.

مرور جامع ادبیات نشان می‌دهد که:

- (۱) شاخص‌های متعددی برای ارزیابی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان در مطالعات مختلف شناسایی شده‌اند؛ از جمله چابکی، سرعت، انعطاف‌پذیری، افزونگی، مدیریت کیفیت، توان مالی، قابلیت اتکا، مدیریت دانش، حمل‌ونقل و سطح خدمات مشتری. این معیارها در جدول ۱ نمایش داده شده‌اند.
 - (۲) بیشتر پژوهش‌ها در صنایع همچون سنگ، نساجی، صنایع غذایی و پروژه‌محور انجام شده‌اند و مطالعات اختصاصی در صنعت رنگ محدود است. همچنین پژوهش‌های موجود در صنعت رنگ از جمله Pham et al., (2022) بیشتر بر انتخاب تأمین‌کننده تمرکز دارند، نه تاب‌آوری آن‌ها.
 - (۳) در تحقیقان موجود از روش BWM در حوزه تاب‌آوری استفاده شده، اما استفاده از ترکیب دلفی فازی و BWM برای صنعت رنگ تاکنون گزارش نشده است.
 - (۴) علاوه بر این، شرایط خاص صنعت رنگ ایران همچون وابستگی به واردات، نوسانات ارز، تحریم‌ها و ریسک‌های شیمیایی، نیاز به پژوهش حاضر را توجیه می‌کند.
- بنابراین، پژوهش حاضر با ارائه یک چارچوب ترکیبی مبتنی بر دلفی فازی و روش بهترین-بدترین، توانسته است شکاف موجود در ادبیات را پوشش داده و مدل بومی‌شده‌ای برای ارزیابی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان در صنعت رنگ ساختمانی ارائه کند.

جدول شماره (۱): شاخص‌های ارزیابی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان

شاخص	توضیحات	منبع
مشاهده‌پذیری	توانایی دیدن سراسر زنجیره برای شناسایی تهدیدهای بالقوه و پاسخگویی مفید و اثربخش به یک اختلال کمک شایانی می‌کند.	Bowen and Siegler, (2024), Anjali et al. (2022), Rezaei, (2015)
آسیب‌پذیری	عدم آسیب‌پذیری تأمین‌کننده در برابر منابع مختلف خطر و همچنین داشتن فروش تاب‌آور و برنامه ریزی عملیات برای شناسایی و واکنش در برابر منابع مختلف آسیب‌پذیری.	Rahimi et al. (2022), Mohammed et al. (2018), Rajesh, and Ravi, (2015)
چابکی	توانایی پاسخگویی فوری به تغییرات پیش‌بینی نشده در عرضه و یا تقاضا	Hajian Heydari et al. (2022), Soni et al. (2014), Sonar et al. (2022), Han et al. (2020)
افزونگی	افزونگی شامل حفظ ظرفیت اضافی، ذخیره ایمنی، تأمین‌کنندگان مختلف و سایت‌های پشتیبان برای مواجهه با اختلال است.	Rostami (2023), Anjali et al. (2022), Chang et al. (2010), Jüttner and & Maklan (2011)
سرعت	سرعت انطباق انعطاف‌پذیر که زمان لازم برای بازیابی از یک اختلال در زنجیره را تعیین می‌کند.	Rahimi et al. (2022), Jüttner and & Maklan (2011)
همکاری	توانایی همکاری مؤثر با نهادهای مختلف در زنجیره تأمین، به منظور دستیابی به دوسویه، از جمله تبادل اطلاعات و منابع، نقشی کلیدی در کاهش آسیب‌پذیری ایفا می‌کند. در نهایت، این رویکرد به بهینه‌سازی فرآیندها و ارتقاء عملکرد کلی سازمان منجر خواهد داشت.	Rahimi et al. (2022), Rostami (2023), Han et al. (2020)
تحقیق و توسعه	داشتن واحد پژوهش و توسعه قوی به منظور سازگاری با تغییرات آشفته بازار و ایجاد و حفظ نوآوری در خود	Pham et al. (2022), Hajian Heydari et al. (2022), Mohammed et al. (2018)
مدیریت دانش	تکوین دانش و فهم چارچوب‌های جسمانی و اطلاعاتی زنجیره تأمین و توانایی آموزش از تحولات، همچنین آموزش دیگر نهادها	Rahimi et al. (2022), Shishodia et al. (2019), Chen et al. (2017)
انعطاف‌پذیری تولید	میزان انعطاف‌پذیری فرآیند تولید تأمین‌کننده	[23] Özfirat et al. (2017), Chang et al. (2010), Ishikaw et al.
اعتماد	وجود اعتماد میان تأمین‌کننده و خریدار	Rahimi et al. (2022), Rostami (2023), Rahnamay Bonab et al. (2023), Jüttner and & Maklan
قدرت مالی	هزینه و اعطای تخفیفات و ایجاد تأخیر در دریافت‌ها و کاهش هزینه‌ها به کمک سایر بخش‌های زنجیره به صورت میان‌سازمانی	Anjali et al. (2022), Soni et al. (2014)
قابلیت اطمینان	در دسترس بودن تأمین‌کننده در زمان اختلالات	Rahimi et al. (2022)

Rajesh & Ravi (2015)	مدت زمان بین دریافت سفارش تا تحویل کالا به مشتری را زمان تأخیر گویند. هرچه این زمان طولانی تر باشد، احتمال آسیب پذیری زنجیره تأمین در برابر اختلالات افزایش می یابد.	زمان تأخیر
Anjali et al. (2022),	توانایی تأمین کننده در تأمین محمول قابل قبول در زمان مورد نیاز	قابلیت اتکا
Rahimi et al. (2022)	ایجاد سیستمی توسط تأمین کننده جهت شناسایی فعالیت های ارزش افزا و غیر ارزش افزا	مدیریت کیفیت
Rostami (2023), Rezaei, (2015), Chen et al. (2017)	آموزش کارکنان در برخورد با رویدادهای خطرناک و ایجاد گروه های چندوظیفه ای	مدیریت منابع انسانی
Sonar et al. (2022), Jüttner and & Maklan (2011), Pham et al. (2022)	قابلیت ایجاد انعطاف در حمل کالاها که تأثیرپذیر از موقعیت جغرافیایی تأمین کننده می باشد.	انعطاف پذیری حمل و نقل
Rostami (2023), Anjali et al. (2022), Rezaei, (2015)	در صورت انباشت بیش از حد موجودی، تأمین کننده روش هایی را برای مقابله با آن انتخاب نمایند.	روش های مدیریت موجودی
Pham et al. (2022), Sonar et al. (2022)	نابرابری ها و فجایع و افزایش توجه به مسائل اخلاقی تمرکز دارد و منجر به افزایش تاب آوری زنجیره تأمین می شود.	پایداری
Anjali et al. (2022), Mohammed et al. (2018), Chen et al. (2017)	طراحی مجدد زنجیره تأمین و تنظیم مجدد منابع پس از اتمام اختلالات	بازسازی
Rahimi et al. (2022)	ظرفیت ایجاد نوآوری و توسعه تکنولوژی توسط تأمین کننده	توانایی نوآوری
Rostami (2023), Jüttner and & Maklan (2011)	توانایی تأمین کننده در نگهداری موجودی کافی در شرایط اختلالات	موجودی اضافی
Rostami (2023)	توانایی تأمین کننده در برآوردن رضایت مشتری تحت شرایط اختلالات	سطح خدمات رضایت

۲- روش شناسی پژوهش

مطالعه حاضر از نظر هدف، توصیفی و از نظر نتیجه، کاربردی است؛ زیرا به شناسایی و رتبه بندی شاخص های ارزیابی تاب آوری تأمین کنندگان می پردازد. در این تحقیق نیز از روش مطالعه میدانی به منظور توزیع پرسشنامه میان افراد خبره و کارشناسان استفاده شده است. برای تأیید و رتبه بندی شاخص های ارزیابی تاب آوری تأمین کنندگان در صنعت رنگ ساختمانی، این روش از اهمیت بسیاری برخوردار است؛ زیرا اطلاعات دریافت شده از خبرگان می تواند به تحلیل و تدوین راهکارهای مناسب برای بهبود عملکرد و تاب آوری تأمین کنندگان در این صنعت کمک کند. برای تأیید معیارهای شناسایی شده از روش دلفی فازی و برای رتبه بندی شاخص ها از روش تصمیم گیری چندمعیاره بهترین-بدترین (BWM) استفاده شده است. به طور کلی، در مطالعه حاضر ابتدا ادبیات پیشینه پژوهش در خصوص شاخص های ارزیابی تاب آوری تأمین کنندگان بررسی شد، معیارها استخراج گردید و در تجزیه و تحلیل مصاحبه ها مورد استفاده قرار گرفت.

جامعه و نمونه آماری این پژوهش شامل ۱۰ نفر از خبرگان و کارشناسان فعال در صنعت رنگ ساختمانی است که حداقل ۱۵ سال سابقه فعالیت در این حوزه دارند. محققان این پژوهش انجام مصاحبه ها را تا رسیدن به اشباع نظری ادامه دادند. در این مطالعه، با توجه به اهداف پژوهش برای شناسایی و رتبه بندی شاخص های تاب آوری تأمین کنندگان در صنعت رنگ ساختمانی، از دو روش دلفی فازی و روش بهترین-بدترین (BWM) استفاده شد.

در گام اول، پرسشنامه دلفی فازی بر اساس موانع شناسایی شده از ادبیات پژوهشی با ۲۳ شاخص طراحی و توزیع شد و توسط ۱۰ نفر از خبرگان و کارشناسان تکمیل گردید و نظرات و معیارهای تکمیلی آنان نیز به آن اضافه شد. سپس پرسشنامه دوم فازی همراه با معیارهای افزوده شده در میان خبرگان توزیع شد. شایان ذکر است که پرسشنامه ها پس از بررسی روایی و پایایی در اختیار خبرگان قرار گرفتند. همچنین پس از توزیع پرسشنامه های دلفی فازی، معیارهایی که اختلاف میانگین آن ها بیشتر از ۰.۱ بود نادیده گرفته شدند و از میان ۲۳ شاخص اولیه، ۱۷ شاخص مهم شناسایی و انتخاب گردید. روایی و پایایی پرسشنامه ها با استفاده از نرم افزار SPSS26 بررسی شد.

تکنیک دلفی فازی. روش دلفی فازی ابزاری برای دستیابی به اجماع میان گروهی از خبرگان است. رویکرد سنتی این روش کاربردهای فراوانی دارد، اما با مشکلاتی مانند ابهام و عدم قطعیت در نظرات خبرگان مواجه است و اجرای آن نیز مستلزم صرف زمان و هزینه زیاد

می‌باشد. در این مطالعه، به منظور بررسی و تأیید شاخص‌های ارزیابی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان در صنعت رنگ ساختمانی، از روش دلفی فازی استفاده شد. این روش ترکیبی از روش دلفی و نظریه مجموعه‌های فازی است که توسط (Ishikawa et al., 1993) معرفی شده است. اهمیت این روش در شرایطی نمایان می‌شود که انسان‌ها قادر نیستند قضاوت‌ها و ترجیحات خود را به طور دقیق و عددی بیان کنند و ناگزیر وابسته به برداشت‌ها و نظرات دیگران هستند. از این رو، انتخاب این روش برای ارزیابی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان در صنعت رنگ ساختمانی می‌تواند به تحلیل و تدوین راهکارهای مناسب برای بهبود عملکرد این بخش کمک کند.

در این تحقیق، از الگوریتم اجرای تکنیک دلفی فازی برای غربال‌سازی ابعاد و شاخص‌های ارزیابی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان صنعت رنگ ساختمانی بهره گرفته شده است. مراحل اجرای دلفی فازی برای شاخص‌ها به صورت خلاصه به شرح زیر است:

گام ۱- شناسایی و جمع‌آوری شاخص‌های ارزیابی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان از طریق بررسی ادبیات پژوهش.
گام ۲- در این مرحله، شاخص‌های شناسایی‌شده از طریق پرسشنامه دلفی فازی توسط خبرگان ارزیابی می‌شوند. هر شاخص با استفاده از عبارت‌های کلامی جدول ۲ در اختیار خبرگان قرار گرفت تا میزان اهمیت آن را مشخص کنند. شاخص‌ها و سؤال‌هایی که مقدار میانگین آن‌ها بزرگ‌تر یا مساوی مقدار آستانه باشند، به عنوان عوامل مهم و تأثیرگذار شناخته می‌شوند؛ در حالی که شاخص‌ها یا سؤال‌هایی که میانگین آن‌ها کمتر از حد آستانه باشد، به عنوان عوامل کم‌اهمیت یا کم‌اثر حذف می‌گردند. مقدار آستانه در پژوهش‌های پیشین معمولاً ۰.۷ در نظر گرفته شده است، اما می‌تواند بر اساس نظر محقق مقدار متفاوتی داشته باشد (Habibi et al., 2015). میزان آلفای کرونباخ پرسشنامه از بین ۲۵ سوال، برای ۱۷ سوال برابر ۰/۸۲۵ بدست آمد، که بیشتر از ۰/۷ می‌باشد. بنابراین پرسشنامه پژوهش از نظر پایایی مورد تأیید می‌باشد.

جدول ۲ اعداد فازی مثلثی با طیف لیکرت پنج گزینه‌ای را نشان می‌دهد. اگر $\tilde{N} = (l, m, u)$ به ترتیب بیانگر کوچکترین، محتمل‌ترین و بزرگترین مقدار باشند، اعداد فازی، به اعداد قطعی تبدیل می‌شوند.

جدول شماره (۲): عبارت کلامی و اعداد فازی مثلثی طیف‌های لیکرت پنج درجه‌ای (ایشیکاوا و همکاران ۲۰۱۲)

عبارات کلامی	خیلی کم اهمیت	کم اهمیت	اهمیت متوسط	مهم	بسیار مهم
اعداد فازی مثلثی	(0, 0, .25)	(0, 0, .25)	(0.25, 0.5, .75)	(0.5, 0.75, 1)	(0.75, 1, 1)

گام ۳- با استفاده از روابط زیر به محاسبه عدد فازی مثلثی برای هر شاخص می‌پردازیم. در روابط زیر، اندیس‌ها و متغیرها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

۱: فرد خبره

۲: معیارهای ارزیابی

۷: ارزش فازی اکتسابی هر معیار توسط هر تصمیم‌گیرنده

۱۲: میانگین فازی ارزش هر معیار

$$v = (x_{ij}; y_{ij}; z_{ij}) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n; \quad j = 1, 2, 3, \dots, m \quad \text{رابطه (۱)}$$

گام ۴- دیفازی‌سازی: با استفاده از رابطه زیر، میانگین فازی ارزش هر شاخص که در مرحله قبل محاسبه شد، به روش مرکز ثقل، دیفازی می‌شود.

$$= \frac{x+2y+z}{4} \quad \text{Crisp} \quad \text{رابطه (۲)}$$

گام ۵- تأیید یا عدم تأیید معیارها: اگر مقدار دیفازی‌شده شاخص‌ها و سؤال‌هایی که مقدار میانگین آن‌ها بزرگ‌تر یا مساوی شاخص آستانه باشد، به عنوان عوامل مهم و تأثیرگذار شناخته می‌شوند و شاخص‌ها یا سؤال‌هایی که مقدار میانگین آن‌ها کمتر از حد آستانه باشد، به عنوان شاخص‌های کم‌اثر یا کم‌اهمیت لحاظ می‌شوند.

بر این اساس، پس از استخراج شاخص‌ها با استفاده از روش دلفی، شاخص‌های با ضریب اهمیت بالاتر تعیین شدند. در نهایت، پس از تأیید موانع توسط خبرگان و کارشناسان، با استفاده از پرسشنامه روش بهترین-بدترین، مقایسه‌های زوجی انجام شد. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، محاسبات اولیه با نرم‌افزار Excel انجام گرفت و تحلیل نهایی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Lingo و بر اساس نظرات ۱۰ نفر از خبرگان صورت گرفت. در این مرحله، وزن هر معیار تعیین شد و شاخص‌های نهایی وزن‌دهی و رتبه‌بندی گردیدند.

تکنیک بهترین-بدترین (BWM): تکنیک BWM یکی از روش‌های پیشرفته تصمیم‌گیری چندمعیاره است که برای وزن‌دهی

عوامل و معیارهای تصمیم‌گیری استفاده می‌شود. این روش توسط Rezaei (2015) معرفی شد. اساس این روش، اندازه‌گیری اهمیت معیارها از طریق مقایسه زوجی است. در روش‌های سنتی تصمیم‌گیری چندشاخصه، از بین تعداد گزینه‌ها، بهترین گزینه انتخاب می‌شود؛ اما در روش BWM، ابتدا بهترین و بدترین شاخص‌ها توسط خبرگان مشخص می‌شوند. سپس مقایسه‌های زوجی بین هر یک از این دو شاخص (بهترین و بدترین) و سایر شاخص‌ها انجام می‌گیرد. در ادامه، با فرموله کردن و حل یک مسئله حداکثر-حداقل، وزن‌های مناسب برای شاخص‌های مختلف تعیین می‌شوند. همچنین برای سنجش اعتبار مقایسات، نرخ ناسازگاری محاسبه می‌شود.

گام‌های اجرای روش بهترین-بدترین شامل موارد زیر است:

گام اول: تعیین مجموعه شاخص‌های تصمیم‌گیری: در این مرحله تصمیم‌گیرنده مجموعه شاخص‌هایی را که برای تصمیم‌گیری مورد نیاز است به صورت $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ تعریف می‌کند.

گام دوم: تعیین بهترین (مهم‌ترین، مطلوب‌ترین) و بدترین (کم اهمیت‌ترین، دارای کمترین مطلوبیت) شاخص. هیچ مقایسه‌ای در این مرحله صورت نمی‌گیرد.

گام سوم: تعیین ارجحیت بهترین شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها با استفاده از عدد ۱ تا ۹: بردار ارجحیت بهترین شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها به صورت $A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})$ نمایش داده می‌شود. در این بردار، a_{Bj} بیانگر ارجحیت بهترین شاخص (B) نسبت به شاخص j ام است. واضح است که $a_{BB} = 1$ می‌باشد.

گام چهارم: تعیین ارجحیت همه شاخص‌ها نسبت به بدترین شاخص با استفاده از اعداد ۱ تا ۹: بردار ارجحیت سایر شاخص‌ها نسبت به بدترین شاخص به صورت $A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})$ نمایش داده می‌شود. در این بردار، a_{jW} بیانگر ارجحیت معیار j ام نسبت به بدترین معیار (W) است. واضح است که $a_{WW} = 1$ می‌باشد.

گام پنجم: پیدا کردن مقادیر بهینه وزن‌ها $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$: برای تعیین وزن بهینه هر یک از شاخص‌ها، زوج‌های $\frac{w_j}{w_w} = a_{jW}$ و $\frac{w_B}{w_j} = a_{Bj}$ تشکیل می‌شود. سپس برای برآورده کردن این شرایط در همه jها باید راه حلی پیدا شود تا عبارات $\left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jW} \right|$ و $\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|$ را برای تمام jهایی که حداقل شده‌اند، حداکثر نماید. باتوجه به غیر منفی بودن وزن‌ها و مجموع اوزان، مدل را می‌توان به صورت رابطه (۳) فرموله کرد (Rezaei et al., 2015).

رابطه (۳)

$$\begin{aligned} \min \max_j & \left\{ \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jW} \right| \right\} \\ \text{s.t.} & \\ \sum_j & w_j = 1 \\ w_j & \geq 0, \text{ for all } j \end{aligned}$$

همچنین رابطه بالا را می‌توان به رابطه (۴) تبدیل کرد:

رابطه (۴)

$$\begin{aligned} \min \xi^l & \\ \text{s.t.} & \\ \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| & \leq \xi^l, \text{ for all } j \\ \left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jW} \right| & \leq \xi^l, \text{ for all } j \\ \sum_j w_j & = 1 \\ w_j & \geq 0, \text{ for all } j \end{aligned}$$

مدل خطی تابع فوق به صورت زیر ارائه شده است که در تحقیق حاضر، وزن‌های شاخص‌های تاب‌آوری تامین‌کنندگان در صنعت رنگ

ساختمانی با استفاده از روش بهترین و بدترین به دست می‌آید.

رابطه (۵)

$$\begin{aligned} \min \xi^I \\ s. t. \\ |w_b - a_{Bj} \cdot w_j| &\leq \xi^I && \text{برای تمامی } j\text{ها} \\ |w_j - a_{jw} \cdot w_w| &\leq \xi^I && \text{برای تمامی } j\text{ها} \\ \sum_j w_j &= 1 \\ w_j &\geq 0, \quad \text{for all } j && \text{برای تمامی } j\text{ها} \end{aligned}$$

در نهایت با حل مدل رابطه ۵، مقادیر بهینه $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$ و ξ^* به دست می‌آیند.

محاسبه نرخ سازگاری. باتوجه به اینکه مقایسات صورت گرفته بین شاخص‌ها، به طور کامل سازگار هستند که به ازای هر شاخص رابطه برقرار باشد، در روش بهترین-بدترین، نرخ سازگاری با استفاده از رابطه ۶ و جدول شاخص‌های سازگاری (۳) محاسبه می‌شود. لازم به توضیح است که در روش بهترین-بدترین، نرخ سازگاری (Consistency Ratio) شاخصی برای سنجش میزان هماهنگی قضاوت‌های خبرگان در مقایسه‌های زوجی است و اعتبار وزن‌های نهایی بر اساس آن سنجیده می‌شود. مقدار این نرخ بین صفر تا یک بوده و مقادیر کمتر از ۰.۱ به عنوان معیار قابل قبول برای سازگاری تصمیم‌گیری‌ها در نظر گرفته می‌شود.

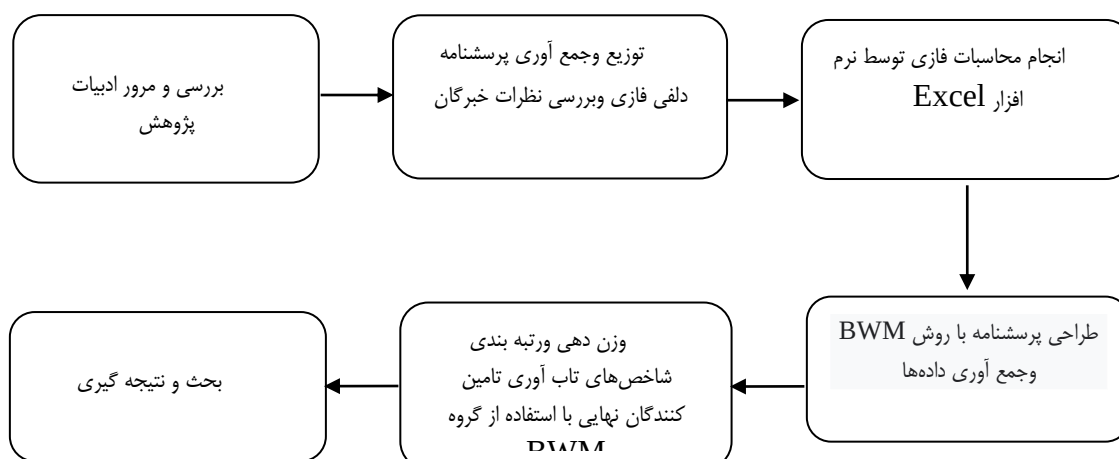
رابطه (۶)

$$\text{نرخ سازگاری} = \frac{\xi^*}{\text{شاخص سازگاری}}$$

جدول ۳. شاخص سازگاری روش بهترین-بدترین

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	a_{Bw}
شاخص سازگاری	5.23	4.47	3.73	3.00	2.30	1.63	1.00	0.44	0.00	

در پژوهش‌هایی که با رویکرد بهترین-بدترین ارائه شده‌اند، به طور عمومی ابتدا بهترین و بدترین شاخص‌ها تعیین می‌شوند و سپس مقایسه‌های زوجی بین این دو شاخص و سایر شاخص‌ها انجام می‌گیرد. در ادامه، با استفاده از فرمول‌ها و حل مسئله حداکثر-حداقل، وزن مناسب هر یک از شاخص‌ها مشخص می‌شود. همچنین، برای ارزیابی اعتبار مقایسات، نرخ ناسازگاری محاسبه می‌شود که در بازه ۰ تا ۱ قرار دارد. این نرخ سازگاری، میزان همخوانی و ثبات مقایسات را نشان می‌دهد؛ هرچه این مقدار به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده سازگاری و ثبات بیشتر مقایسات است و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده کاهش سازگاری و اعتبار مقایسات پژوهش می‌باشد. با توجه به مراحل مختلف تحقیق و روش‌های تجزیه و تحلیل بیان شده، گام‌های مورد بررسی در این پژوهش به طور خلاصه در شکل (۱) ارائه شده است:



شکل شماره (۱). مراحل اجرای تحقیق

۳- نتایج و بحث

با توجه به تأیید ۲۳ شاخص ارزیابی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان که از طریق بررسی پیشینه پژوهش شناسایی شده بودند (جدول ۱)، پرسشنامه دلفی فازی تهیه و بین کارشناسان توزیع شد. از ۱۰ نفر از متخصصان و خبرگانی که در صنعت رنگ ساختمانی فعالیت داشتند، خواسته شد تا براساس روش دلفی فازی به سؤالات پرسشنامه پاسخ دهند. سپس با تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از پرسشنامه، از میان ۲۳ شاخص شناسایی‌شده، ۱۷ شاخص توسط کارشناسان و خبرگان صنعت رنگ ساختمانی تأیید گردید.

جدول شماره (۴): نتایج روش دلفی فازی

شاخص	میانگین فازی	میانگین دلفازی	تأیید یا رد
مشاهده‌پذیری	(0.25, 0, 1)	0.23	رد
آسیب‌پذیری	(0.25, 0.61, 1)	0.59	رد
چابکی	(0.5, 0.84, 1)	0.81	تأیید
افزونگی	(0.5, 0.82, 1)	0.78	تأیید
سرعت	(0.5, 0.72, 1)	0.72	تأیید
همکاری	(0.5, 0.72, 1)	0.72	تأیید
تحقیق و توسعه	(0, 0.64, 1)	0.58	رد
مدیریت دانش	(0.25, 0.92, 1)	0.82	تأیید
انعطاف‌پذیری تولید	(0.55, 0.72, 1)	0.74	تأیید
اعتماد	(0.5, 0.75, 1)	0.75	تأیید
قدرت مالی	(0.5, 0.82, 1)	0.78	تأیید
قابلیت اطمینان	(0.5, 0.75, 1)	0.75	تأیید
زمان تاخیر	(0.5, 0.65, 1)	0.71	تأیید
قابلیت اتکا	(0.25, 0.57, 1)	0.58	رد
مدیریت کیفیت	(0.25, 0, 1)	0.23	رد
مدیریت منابع انسانی	(0.5, 0.78, 1)	0.76	تأیید
انعطاف‌پذیری حمل و نقل	(0.5, 0.88, 1)	0.83	تأیید
روش‌های مدیریت موجودی	(0.5, 0.92, 1)	0.86	تأیید
پایداری	(0.5, 0.73, 1)	0.74	تأیید
بازسازی	(0.5, 0.79, 1)	0.79	تأیید
توانایی نوآوری	(0.5, 0.7, 1)	0.72	تأیید
موجودی اضافی	(0, 0.22, 1)	0.31	رد
سطح خدمات رضایت مشتری	(0.5, 0.71, 1)	0.72	تأیید
مقدار آستانه*	(0.2, 0.7, 1)	0.70	

شاخص‌های رد شده شامل «مشاهده‌پذیری»، «توانایی نوآوری»، «مدیریت منابع انسانی»، «پایداری»، «اعتماد» و «موجودی اضافی» بودند که دلیل آن‌ها می‌تواند اولویت پایین‌تر در شرایط عملیاتی صنعت رنگ و عدم کاربرد گسترده در فرآیندهای زنجیره تأمین این صنعت باشد. شاخص‌های تأیید شده، پایه‌ای برای مراحل بعدی وزن‌دهی و رتبه‌بندی با استفاده از روش بهترین-بدترین فراهم کردند. شاخص‌های تأیید شده تحقیق حاضر به همراه کد هر شاخص به شرح جدول ۵ می‌باشد:

جدول شماره (۵): شاخص‌های تایید شده و کد هر شاخص طبق تایید خبرگان براساس روش دلفی فازی

معیار	کد	معیار	کد	معیار	کد
انعطاف‌پذیری تولید	C1	زمان تاخیر	C7	سطح خدمات رضایت مشتری	C13
انعطاف‌پذیری حمل و نقل	C2	قابلیت اتکا	C8	همکاری	C14
آسیب‌پذیری	C3	افزونگی	C9	تحقیق و توسعه	C15
قدرت مالی	C4	مدیریت کیفیت	C10	بازسازی	C16
چابکی	C5	روش‌های مدیریت موجودی	C11	مدیریت دانش	C17
قابلیت اطمینان	C6	سرعت	C12		

بر اساس شاخص‌های ارزیابی تاب‌آوری تامین‌کنندگان که براساس روش دلفی فازی توسط خبرگان تایید نهایی شدند، شاخص سطح خدمات رضایت مشتری (C13) که بالاترین مقدار میانگین دی فازی شده را کسب کرده است، به عنوان بهترین شاخص شناخته شده است. همچنین شاخص مدیریت کیفیت (C10) که پایین‌ترین مقدار میانگین دی فازی شده را دارد، به عنوان بدترین شاخص انتخاب شد. سپس در مرحله بعد پرسشنامه بهترین-بدترین تهیه شد و بین خبرگان توزیع گردید و میانگین مقادیر جمع‌آوری شده از خبرگان محاسبه شد. از نتایج حاصل از نظرات خبرگان، نتایج مربوط به ارجحیت بهترین شاخص نسبت به بقیه شاخص‌ها و ارجحیت تمامی شاخص‌ها نسبت به بدترین شاخص در جدول ۶ قابل مشاهده می‌باشد و سپس وزن‌های محاسبه شده هر کدام از شاخص‌ها توسط نرم افزار لینگو ۱۸ انجام شده است.

جدول شماره (۶): وزن‌های نهایی و رتبه‌بندی شاخص‌های ارزیابی تاب‌آوری تامین‌کنندگان

شاخص	ارجحیت بهترین شاخص به سایر شاخص‌ها	ارجحیت بدترین شاخص به سایر شاخص‌ها	وزن نهایی (Wj)	اولویت نهایی
C1	4.78	6.4	0.116592	5
C2	2.5	8.2	0.046522	11
C3	7.9	4.9	0.013567	16
C4	8	2.3	0.034338	12
C5	1.6	8.4	0.157941	2
C6	7.4	3.1	0.033128	13
C7	6.2	4.2	0.068914	8
C8	4.6	6.7	0.081487	6
C9	2	7.6	0.134568	4
C10	8.8	1	0.011478	17
C11	3.2	6.9	0.146859	3
C12	7.1	4.1	0.018946	15
C13	1	8.8	0.267835	1
C14	5.2	4.8	0.027692	14
C15	4	6	0.049915	10
C16	4.8	7.3	0.075971	7
C17	7.3	2.3	0.067902	9
مقدار * ξ			0.062148	
شاخص سازگاری			5.082	
نرخ سازگاری			0.01603	

در این پژوهش، مقدار نرخ سازگاری برابر با ۰.۰۱۶ محاسبه شد که نشان‌دهنده سازگاری بسیار مطلوب قضاوت‌ها و قابلیت اتکای بالای وزن‌های استخراج‌شده است. از این رو، فرایند وزن‌دهی شاخص‌ها مبتنی بر ارزیابی‌هایی معتبر و منسجم انجام شده است.

نتایج حاصل از روش بهترین-بدترین نشان داد که سه شاخص با بالاترین اولویت شامل سطح خدمات و رضایت مشتری (C13) با وزن ۰.۲۶۷۸، چابکی (C5) با وزن ۰.۱۵۷۹، روش‌های مدیریت موجودی (C11) با وزن ۰.۱۴۶۹، به ترتیب در رتبه‌بندی نهایی به عنوان با اهمیت‌ترین شاخص‌های تاب‌آوری تأمین‌کنندگان در صنعت رنگ ساختمانی شناخته شدند. سایر شاخص‌ها وزن‌های مکمل داشته و نقش حمایتی در تاب‌آوری کل زنجیره تأمین ایفا می‌کنند. نرخ سازگاری ($CR = 0.016$) نیز نشان‌دهنده صحت و سازگاری تصمیم‌گیری خبرگان است. سطح خدمات و رضایت مشتری شاخصی حیاتی است که توانایی سازمان را در تضمین تداوم خدمات، کاهش تأخیرها و افزایش رضایت مشتریان نشان می‌دهد. این شاخص انعکاسی از قابلیت تأمین پایدار منابع حیاتی و مدیریت ریسک‌های محیطی است. چابکی، توانایی سازمان در پاسخ سریع به تغییرات بازار و شرایط نامساعد را منعکس می‌کند. چابکی بالا موجب کاهش آسیب‌پذیری زنجیره تأمین و افزایش انعطاف عملیاتی می‌شود. هم‌چنین روش‌های مدیریت موجودی، هزینه‌ها را کاهش داده و سرعت تحویل محصولات را افزایش می‌دهد. این شاخص، نقشی کلیدی در افزایش پایداری و تاب‌آوری عملیاتی زنجیره دارد.

تحلیل همزمان شاخص‌ها نشان می‌دهد که تاب‌آوری تأمین‌کنندگان نتیجه تعامل بین شاخص‌های کلیدی و مکمل است. برای مثال، ترکیب «چابکی» و «مدیریت موجودی» با «سطح خدمات و رضایت مشتری» باعث افزایش توانایی سازمان در مدیریت اختلالات، کاهش ریسک تأخیر و افزایش رضایت نهایی مشتری می‌شود. سایر شاخص‌ها نظیر «افزونگی»، «قابلیت اتکا» و «انعطاف‌پذیری حمل‌ونقل» به عنوان مؤلفه‌های مکمل، پایداری کلی زنجیره را تقویت می‌کنند.

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که سازمان‌ها و تأمین‌کنندگان می‌توانند با تمرکز بر ارتقاء شاخص‌های کلیدی تاب‌آوری، عملکرد زنجیره تأمین را بهبود دهند. در مجموع، تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که تاب‌آوری تأمین‌کنندگان، نه تنها نتیجه عملکرد تک‌به‌تک شاخص‌ها، بلکه تعامل هوشمندانه بین شاخص‌های مختلف است. به همین دلیل، توصیه می‌شود مدیران زنجیره تأمین در صنعت رنگ به ارتقاء شاخص‌های کلیدی و تقویت شاخص‌های مکمل توجه ویژه‌ای داشته باشند و استراتژی‌های عملیاتی مناسبی برای مدیریت ریسک، افزایش انعطاف‌پذیری و بهبود رضایت مشتریان تدوین کنند.

نتایج به‌دست آمده از تحلیل شاخص‌های تاب‌آوری تأمین‌کنندگان در صنعت رنگ ساختمانی با معیارهای شناسایی شده در سایر صنایع و پژوهش‌ها تطابق دارد. شاخص چابکی که در این تحقیق، در رتبه دوم قرار دارد، با نتایج پژوهش‌های Hajian Heydari et al. (2022)، Rahimi et al. (2022) و Piprani et al. (2020) همخوانی دارد، که بر اهمیت توانایی سازمان در پاسخ سریع به تغییرات بازار و شرایط غیرمنتظره تأکید کرده‌اند. روش‌های مدیریت موجودی نیز با یافته‌های Piprani et al. (2020) و Mohammed et al. (2018) همسو است که نقش مدیریت مؤثر موجودی در کاهش آسیب‌پذیری زنجیره و افزایش تاب‌آوری عملیاتی را برجسته کرده‌اند. سطح خدمات و رضایت مشتری شاخصی است که اهمیت آن در پژوهش حاضر برجسته شده و تا حدودی با نتایج Bowen and Siegler (2024) و Pham et al. (2022) هم‌راستا است، چرا که این مطالعات نیز به شفافیت عملکرد و کیفیت خدمات به‌عنوان عامل کلیدی تاب‌آوری اشاره دارند. این تطابق، اعتبار نتایج حاصل از روش BWM و غربالگری دلفی فازی را تقویت می‌کند و نشان می‌دهد که چارچوب مفهومی پژوهش با یافته‌های جهانی و صنعتی همخوانی دارد.

در مقایسه با مطالعات پیشین، پژوهش حاضر بر سطح خدمات و رضایت مشتری به‌عنوان شاخص با بالاترین وزن تأکید ویژه دارد. این نکته نشان‌دهنده اهمیت ویژه عملکرد تأمین‌کنندگان در تضمین تداوم خدمات و کاهش تأخیرها در صنعت رنگ ساختمانی است و می‌تواند به عنوان شاخصی عملیاتی و مشتری‌محور، جنبه‌ای جدید نسبت به مطالعات گذشته ارائه دهد. سایر شاخص‌های شناسایی شده با وزن‌های کمتر، نقش مکمل و حمایتی در تاب‌آوری زنجیره تأمین ایفا می‌کنند و با مطالعاتی مانند Rajesh & Ravi (2015) و Han et al. (2020) همخوانی دارند که بر اهمیت یکپارچگی معیارهای متنوع تاب‌آوری تأکید کرده‌اند.

به طور کلی، نتایج پژوهش حاضر هم راستا با مطالعات پیشین، هم شاخص‌های اصلی تاب‌آوری شامل چابکی، مدیریت موجودی، کیفیت و قابلیت اتکا را تأیید می‌کند و هم به دلیل تأکید خاص بر سطح خدمات و رضایت مشتری، ابعاد جدیدی از تاب‌آوری تأمین‌کنندگان در صنعت رنگ ساختمانی را برجسته می‌سازد.

بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، از میان ابعاد شاخص‌های تاب‌آوری تأمین‌کنندگان، سطح خدمات و رضایت مشتری با وزن ۰.۲۶۷۸۳۵، چابکی با وزن ۰.۱۵۷۹۴۱ و روش‌های مدیریت موجودی با وزن ۰.۱۴۶۸۵۹، به ترتیب بیشترین اهمیت را دارند. این نتایج نشان می‌دهند که سطح خدمات و رضایت مشتری به طور مستقیم با تاب‌آوری تأمین‌کنندگان مرتبط است. به عبارت دیگر، زمانی که تأمین‌کنندگان قادر به ارائه خدمات پایدار و بدون وقفه به مشتریان هستند و توانایی مدیریت ریسک‌های مختلف را دارند، احتمالاً رضایت مشتریان افزایش خواهد یافت. بنابراین، مدیران زنجیره تأمین باید به توانایی تأمین‌کنندگان خود در مواجهه با مخاطرات و حوادث مختلف توجه کنند و از آن‌ها بخواهند که استراتژی‌های مناسبی برای تاب‌آوری و اطمینان از عملکرد پایدار داشته باشند.

هدف اصلی تحقیق حاضر شناسایی و رتبه‌بندی شاخص‌های ارزیابی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان در صنعت رنگ ساختمانی با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره بود. ابتدا پیشینه‌های داخلی و خارجی بررسی شد و شاخص‌های مهم شناسایی گردیدند. سپس پرسشنامه دلفی فازی بین خبرگان صنعت رنگ توزیع شد و از ۲۳ شاخص اولیه، ۱۷ شاخص توسط خبرگان تأیید شدند. در مرحله دوم، پرسشنامه بهترین-بدترین برای رتبه‌بندی شاخص‌های تأیید شده تدوین و بین ۱۰ نفر از خبرگان توزیع شد و تحلیل‌ها با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی روش بهترین-بدترین در نرم‌افزار Lingo انجام شد. نتایج نشان دادند که سطح خدمات و رضایت مشتری، چابکی و روش‌های مدیریت موجودی مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان در صنعت رنگ ساختمانی هستند.

همچنین بررسی‌ها نشان داد که برخی تأمین‌کنندگان از محدودیت‌ها و آسیب‌پذیری‌های قابل توجهی رنج می‌برند و نیاز به توسعه و بهبود فرآیندهای خود دارند. تأمین‌کنندگان با تاب‌آوری بالاتر می‌توانند فعالیت خود را در شرایط نامساعد ادامه دهند و به سرعت با تغییرات محیطی سازگار شوند. شاخص‌های تاب‌آوری تأمین‌کنندگان شامل عواملی مانند انعطاف‌پذیری، تنوع فعالیت‌ها و شفافیت در عملکرد می‌باشند. بنابراین پیشنهاد می‌شود:

تأمین‌کنندگان بر بهبود فرآیندهای خود تمرکز کنند و رویکردهای نوین برای افزایش تاب‌آوری توسعه دهند. ارتقاء انعطاف‌پذیری و تنوع در فعالیت‌ها و افزایش شفافیت و ارتباطات با مشتریان و تأمین‌کنندگان را جدی بگیرند. شرکت‌های فعال در صنعت رنگ ساختمانی توجه ویژه‌ای به توسعه و بهبود شاخص‌های تاب‌آوری تأمین‌کنندگان خود داشته باشند و استراتژی‌های مناسبی برای مدیریت ریسک و افزایش انعطاف‌پذیری اتخاذ کنند. همچنین مدیران کسب‌وکار اطلاعات و دانش خود درباره تاب‌آوری و شاخص‌های مرتبط را ارتقا داده و این دانش را به کارکنان خود منتقل کنند.

بر این اساس، مسیرهای پیشنهادی برای تحقیقات آتی به شرح زیر است. (۱) بررسی رابطه بین تاب‌آوری تأمین‌کنندگان و شاخص‌های مالی و عملکرد کسب‌وکار برای تحلیل عمیق‌تر اثرات تاب‌آوری. (۲) ارزیابی تاب‌آوری زنجیره تأمین در صنایع دیگر (مانند صنایع غذایی، خودروسازی و پوشاک) برای شناسایی شاخص‌های مشترک و اختصاصی. (۳) استفاده از روش‌های داده‌محور و هوش مصنوعی برای پیش‌بینی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان و شناسایی ریسک‌های احتمالی. (۴) تحلیل اثر تاب‌آوری تأمین‌کنندگان بر رضایت نهایی مشتری و عملکرد زنجیره تأمین با داده‌های میدانی و کمی. (۵) توسعه مدل‌های پویا و سناریو محور برای ارزیابی تاب‌آوری در شرایط بحران و تغییرات ناگهانی بازار.

تعارض منافع. برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است و نتایج و دستاوردهای این مقاله به نفع یا ضرر سازمان یا فردی خاص نخواهد بود. حضور نویسندگان در این پژوهش به عنوان شاهی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

۴- منابع

Afrasiabi, A., Tavana, M., & Di Caprio, D. (2022). An extended hybrid fuzzy multi-criteria decision model for sustainable and resilient supplier selection. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(25), 37291–37314. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17851-2>

- Akhter, P., Arshad, A., & Hussain, M. (2025). A review on environmental impacts of paints and strategies for producing eco-friendly paints. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 22(1), 555–578.
- Anjali, S., Priyanka, V., & Karuna, J. (2022). Supplier resilience assessment in project-driven supply chains. *The TQM Journal*, 33(9-10), 1–23. <https://doi.org/10.1108/TQM-07-2020-0160>
- Bowen, F., & Siegler, J. (2024). The role of visibility in supply chain resiliency: Applying the Nexus supplier index to unveil hidden critical suppliers in deep supply networks. *Decision Support Systems*, 176, 114063. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2023.114063>
- Chang, Y., Wilkinson, S., Seville, E., & Potangaroa, R. (2010). Resourcing for a resilient post-disaster reconstruction environment. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 1(1), 65–83. <https://doi.org/10.1108/17595901011026481>
- Chen, X., Xi, Z., & Jing, P. (2017). A unified framework for evaluating supply chain reliability and resilience. *IEEE Transactions on Reliability*, 66(4), 1144–1156. <https://doi.org/10.1109/TR.2017.2736880>
- Ganguly, A., Chatterjee, D., & Rao, H. (2018). The role of resiliency in managing supply chain disruptions. In S. K. Jain, R. P. Singh, A. K. Mishra, & S. K. Yadav (Eds.), *Supply chain risk management* (pp. 237–251). Springer.
- Habibi, A., Jahantigh, F. F., & Sarafrazi, A. (2015). Fuzzy Delphi technique for forecasting and screening items. *Asian Journal of Research in Business Economics and Management*, 5(2), 130–143.
- Hajian Heydari, M., & Mirza Alian, M. (2022). Identification and ranking of suppliers' resilience evaluation criteria in the natural building stone industry. *Industrial Management Studies Quarterly*, 20(56), 1–41. <https://doi.org/10.22054/IJMS.2022.66299.2767>
- Han, Y., Chong, W. K., & Li, D. (2020). A systematic literature review of the capabilities and performance metrics of supply chain resilience. *International Journal of Production Research*, 58(15), 4541–4566. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1785034>
- Ishikawa, A., Amagasa, M., Shiga, T., Tomizawa, G., Tatsuta, R., & Mieno, H. (1993). The max-min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration. *Fuzzy Sets and Systems*, 55(3), 241–253. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(93\)90251-C](https://doi.org/10.1016/0165-0114(93)90251-C)
- Jafarnejad Chagoshi, A., Kazemi, B., & Arab, A. (2016). Identifying and prioritizing suppliers' resilience evaluation indicators based on the best-worst method. *Industrial Management Perspective*, 6(1), 159–186.
- Jüttner, U., & Maklan, S. (2011). Supply chain resilience in the global financial crisis: An empirical study. *Supply Chain Management: An International Journal*, 16(4), 246–259. <https://doi.org/10.1108/13598541111139062>
- Mohammed, A., Harris, I., Soroka, A., Naim, M. M., & Ramjaun, T. (2018). Evaluating green and resilient supplier performance: AHP-fuzzy TOPSIS decision-making approach. *Proceedings of the 7th International Conference on Operations Research and Enterprise Systems (ICORES 2018)*, 350–357.
- Özfiat, M. K., Özkan, E., Kahraman, B., Şengün, B., & Yetkin, M. E. (2017). Integration of risk matrix and event tree analysis: A natural stone plant case. *Sādhanā*, 42(10), 1741–1749. <https://doi.org/10.1007/s12046-017-0724-7>
- Pham, C. P., Nguyen, P. T., & Phan, P. T. (2022). Application of the grey system theory in construction management: A case study of construction paint supplier evaluation and selection criteria. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 12(5), 9087–9091. <https://doi.org/10.48084/etasr.5145>
- Piprani, A. Z., Jaafar, N. I., & Ali, S. M. (2020). Prioritizing resilient capability factors of dealing with supply chain disruptions: An analytical hierarchy process (AHP) application in the

- textile industry. *Benchmarking: An International Journal*, 27(4), 1416–1453. <https://doi.org/10.1108/BIJ-03-2019-0111>
- Rahimi, A., Karimi Gharsaki, M. H., & Amirreza, Z. (2022). Presentation of a framework for choosing a lean, agile and resilient supplier in the food industry supply chain with a combined approach of multi-criteria decision-making and rough numbers (case study: Atka organization). *Industrial Management Studies Quarterly*, 22(27), 323–373. <https://doi.org/10.22054/jims.2024.76548.2885>
- Rahnamay Bonab, S., Haseli, G., Rajabzadeh, H., Jafarzadeh Ghouschi, S., Hajiaghaei-Keshteli, M., & Tomaskova, H. (2023). Sustainable resilient supplier selection for IoT implementation based on the integrated BWM and TRUST under spherical fuzzy sets. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 6(1), 153–185. <https://doi.org/10.31181/dmame12012023b>
- Rajesh, R., & Ravi, V. (2015). Supplier selection in resilient supply chains: A grey relational analysis approach. *Journal of Cleaner Production*, 86, 343–359. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.054>
- Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009>
- Rostami, S. (2023). *Presenting a new supplier resilience assessment framework to improve supply chain resilience: A case study* [Paper presentation]. 14th International Conference on Recent Advances in Industrial Engineering and Management, Tehran, Iran. <https://civilica.com/doc/1701755>
- Shishodia, A., Verma, P., & Dixit, V. (2019). Supplier evaluation for resilient project-driven supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 129, 465–478. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.02.006>
- Sonar, H., Gunasekaran, A., Agrawal, S., & Roy, M. (2022). Role of lean, agile, resilient, green, and sustainable paradigm in supplier selection. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 4, 100059. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100059>
- Soni, U., Jain, V., & Kumar, S. (2014). Measuring supply chain resilience using a deterministic modeling approach. *Computers & Industrial Engineering*, 74, 11–25. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.04.019>

EXTENDED ABSTRACT

Identifying and Ranking Suppliers' Resilience Evaluation Indicators in The Construction Paint Industry Using the Best-Worst Method**Mahdi Jahani**

Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Industrial Engineering and Management, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Mohammad Barzgar

Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Industrial Engineering and Management, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Masoumeh Messi Bidgoli (Corresponding Author)

Industrial Engineering Group, Golpayegan College of Engineering, Isfahan University of Technology, Golpayegan, Iran.

Email: m.messi@iut.ac.ir

Introduction

In the contemporary volatile business landscape, industries are perpetually confronted with a multitude of risks and disruptions. For the construction paint industry, characterized by its reliance on imported raw materials, chemical processing sensitivities, and exposure to economic sanctions and currency fluctuations, building a resilient supply chain is not merely advantageous but essential for survival and competitive continuity. Supplier resilience, defined as a supplier's capacity to anticipate, withstand, respond to, and recover from disruptive events, emerges as a critical strategic lever. Selecting resilient suppliers ensures business continuity, mitigates production stoppage costs, and enhances end-customer satisfaction. Despite a growing body of literature on supply chain resilience, a significant research gap persists concerning industry-specific studies, particularly within the construction paint sector. Existing research often focuses on broader manufacturing or other specific industries like textiles, food, or natural stone, leaving the unique challenges of the paint industry—such as chemical hazard management, import dependency, and specific market volatilities—underserved. Furthermore, while Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods have been applied, the combined use of the Fuzzy Delphi technique for expert-driven indicator screening and the Best-Worst Method (BWM) for precise weighting and ranking has not been previously employed in this context. This study, therefore, aims to bridge this gap by developing a tailored, robust framework to identify, validate, and prioritize the key indicators for evaluating supplier resilience specifically within the Iranian construction paint industry.

Methodology

This applied and descriptive research employs a hybrid two-phase methodological framework to achieve its objectives. The study population consisted of 10 industry experts and senior professionals from the construction paint sector, each with a minimum of 15 years of experience, ensuring deep contextual knowledge. In the first phase, a comprehensive set of 23 potential resilience indicators was extracted from a systematic review of extant literature. To refine and validate these indicators within the specific context of the paint industry, the Fuzzy Delphi Method (FDM) was implemented. A questionnaire utilizing linguistic variables and triangular fuzzy numbers (e.g., Very Low, Low, Medium, Important, Very Important) was distributed to the expert panel. The FDM process involved calculating the fuzzy mean for each indicator, defuzzifying these values using the Center of Gravity method to obtain crisp scores, and then comparing these scores against a predetermined threshold of 0.70. Indicators scoring at or above this threshold were retained, while others were deemed less critical for this specific industry context. This process culminated in the validation of 17 key resilience indicators from the initial 23.

The second phase focused on determining the relative importance and final ranking of the 17 validated indicators. For this purpose, the Best-Worst Method (BWM), a recent and efficient MCDM technique, was adopted. Experts were asked to identify the most important (Best) and the least important (Worst) criterion from the list. Subsequently, they performed pairwise comparisons between the Best criterion and all others, and between all criteria and the Worst criterion, using a scale of 1-9. These comparisons were used to formulate a linear programming model, solved using Lingo software, to derive the optimal weights for each criterion (w_j) and a consistency ratio ($*\zeta$). A consistency ratio below 0.1 indicates acceptable reliability of the expert judgments. This two-stage hybrid approach (Fuzzy Delphi + BWM) ensures that the final model is both contextually validated through expert consensus and yields highly reliable and precise priority weights.

Results and Discussion

The application of the Fuzzy Delphi technique successfully refined the indicator set. From the initial 23 indicators, 17 were confirmed as critically relevant to supplier resilience in the construction paint industry. Notably, indicators such as "visibility," "R&D capability," "extra inventory," and "quality management" were filtered out, suggesting that experts perceive them as having lower operational priority or applicability within the specific constraints and practices of this sector.

The subsequent BWM analysis provided a clear hierarchy of importance among the 17 validated indicators. The calculated consistency ratio was 0.016, far below the 0.1 threshold, confirming the high reliability and internal consistency of the expert comparisons. The top three indicators, which collectively form the core of supplier resilience in this industry, were:

1. Customer Service Level and Satisfaction (C13) with a decisive weight of 0.268.
2. Agility (C5) with a weight of 0.158.
3. Inventory Management Methods (C11) with a weight of 0.147.

These results reveal a strong customer-centric and operational orientation. The paramount importance of *Customer Service Level and Satisfaction* underscores that, from the perspective of paint manufacturers, a resilient supplier is ultimately one that can guarantee service continuity and meet customer expectations reliably, even under disruptive conditions. This aligns with the fundamental goal of resilience: to maintain performance. *Agility*, the ability to respond swiftly to unforeseen changes in supply or demand, is critical in an industry plagued by import uncertainties and market volatility. *Inventory Management Methods* directly impact a supplier's ability to buffer against shocks, manage lead times, and prevent stockouts or excessive holding costs, making it a vital operational component of resilience.

Other indicators, such as *Redundancy (C9)*, *Flexibility in Production (C1)*, *Trust (C8)*, and *Financial Strength (C4)*, received lower but complementary weights, indicating their supportive role in building a holistic resilient profile. The findings show partial alignment with prior research in other sectors, which also emphasize agility and inventory management. However, the elevation of customer service satisfaction to the foremost position offers a distinct, performance-oriented perspective specific to the dynamics of the construction paint supply chain.

Conclusion

This study presents a novel, integrated framework for assessing supplier resilience tailored to the construction paint industry. By combining the Fuzzy Delphi Method for context-specific indicator screening and the Best-Worst Method for accurate prioritization, the research provides a both rigorous and practical tool for decision-makers. The identified hierarchy—highlighting customer service, agility, and inventory management as the paramount resilience indicators—offers clear strategic guidance. Managers in the paint industry should prioritize evaluating and developing these capabilities in their suppliers to enhance overall supply chain robustness. Furthermore, suppliers themselves can utilize these findings to focus their improvement efforts on the areas deemed most critical by their customers. Future research can extend this framework by investigating the causal relationships between these resilience indicators and overall firm

performance, applying the model in other geographical or industrial contexts, or integrating it with data-driven risk assessment tools for dynamic resilience evaluation.