فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی
واحد سنندج – سال چهاردهم/ شماره ۴۸ / تابستان ۱۳۹۸

ارزیابی ریسک های زنجیره تأمین پایدار با روش تحلیل حالات و دلایل شکست در محیط فازی (مطالعه موردی: صبا باطری)

مجتبی فرخ (نویسنده مسؤول)
استادیار، گروه مدیریت عملیات و فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
Email: M.farrokh93@gmail.com
مهدی شعله
دانشجوی دکتری مدیریت، گرایش تولید و عملیات، دانشگاه تهران، پردیس فارابی، قم، ایران
محسن ذبیحی جامخانه
دانش آموخته دکتری مدیریت، گرایش تحقیق در عملیات، دانشگاه تهران، پردیس فارابی، قم، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۱۳ * تاریخ پذیرش ۹۸/۰۶/۲۷

چکیده

باوجود مزایای متعدد جهانی‌شدن و ورود فنّاوری‌های پیشرفته، این عوامل زنجیره تأمین پایدار را در معرض ریسک‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی قرار می‌دهد. هدف پژوهش حاضر، توسعه یک رویکرد جدید برای شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های موجود در زنجیره تأمین پایدار با استفاده از روش تحلیل حالت و دلایل شکست (FMEA) است. برای تحقق این هدف، ابتدا ریسک‌های موجود در زنجیره‌های پایدار صنعت باطری‌سازی شناسایی‌شده، سپس با نظر گروه‌های بین وظیفه‌ای و با بهره‌گیری از روش پیشنهادی این ریسک‌ها اولویت‌بندی می‌شوند. با توجه به اینکه فاکتورهای ریسک شامل احتمال، شدت و قابلیت شناسایی به‌صورت متغیرهای فازی بوده، در این پژوهش از اعداد اولویت ریسک فازی (FRPN) برای بررسی حالات شکست استفاده می‌شود. اعداد اولویت ریسک فازی به‌صورت میانگین هندسی موزون فازی فاکتورهای ریسک تعریف و با کمک مجموعه‌های سطوح برش آلفا و مدل برنامه‌ریزی خطی محاسبه می‌شود. سپس با توجه به ناکارایی رویکردهای فازی اولویت‌بندی عوامل ریسک پایداری، در رویکرد پیشنهادی از روابط ترجیح فازی برای این منظور استفاده می‌شود. نتایج نشان‌دهنده آن است که رویکرد پیشنهادی قادر است با کارایی محاسباتی بالایی نتایج مشابهی را ارائه دهد.

کلمات کلیدی: اعداد اولویت ریسک فازی، روابط ترجیح فازی، زنجیره تأمین پایدار، فاکتورهای ریسک.

۱- مقدمه

امروزه به علت افزایش عدم اطمینان و بروز عواملی نظیر مسائل سیاسی، نوسانات تقاضا، تغییرات فنّاوری، ناپایداری‌های مالی و حوادث طبیعی، سازمان‌ها برای کاهش آسیب‌پذیری و افزایش قابلیت تحمل زنجیره تأمین خود مجبور به‌صرف منابع زیادی برای مواجهه با این ریسک‌ها شده‌اند. توجه به این عدم اطمینان‌ها و عوامل ایجادکننده انواع ریسک موجب شده است تا مدیریت ریسک به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین موضوعات پژوهشی در ادبیات مدیریت عملیات و زنجیره تأمین مطرح شود (Narasimhan & Talluri, 2009; Vanany et al., 2009; Anderson & Anderson, 2009).

گرایش به این موضوع از عدم اطمینان پیوسته در اقتصاد جهانی، روندهای کسب‌وکار مانند برون‌سپاری و پیشرفت در فنّاوری اطلاعات ناشی می‌شود که منجر به توسعه زنجیره‌های تأمین پیچیده جهانی شده است (Trkman & McCormack, 2009). به‌رغم منافع عمده این‌گونه زنجیره‌های تأمین، آن‌ها آسیب‌پذیرتر هستند و سازمان‌ها را در معرض سطوح بالاتری از ریسک قرار می‌دهند.

بدون تردید توجه به پایداری به‌صورت یک استراتژی مؤثر برای مواجهه با برخی از چالش‌های زنجیره‌های تأمین جهانی تشخص داده‌شده است. پایداری زنجیره تأمین به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع کاهش هزینه و سودآوری بلندمدت شرکت‌ها است (Wang & Sarkis, 2013). مسئولیت‌پذیری مدیران زنجیره تأمین باعث شده است آن‌ها تصمیماتی را در خصوص منبع یابی پایدار، گسترش رضایت محلی، مدیریت روابط و بازیابی دارایی‌ها برای کاهش هزینه‌ها و ریسک‌های مرتبط با پایداری زنجیره تأمین بگیرند. پایداری به افزایش توان رقابت‌پذیری و بهبود عملکرد مالی منجر می‌شود و سرمایه بیشتری را برای شرکت‌ها جهت کاهش اثرات ریسک‌های بالقوه کسب‌وکار فراهم می‌سازد (Godfrey et al, 2009; Olson & Wu, 2010). بر اساس مفهوم پایداری تصمیمات کنونی سازمان‌ها بر روی وضعیت آینده محیط طبیعی، جوامع و بقای کسب‌وکار تأثیر می‌گذارد (Krysiak, 2009). پایداری دستیابی استراتژیک و تلفیق اهداف اجتماعی، محیطی و اقتصادی سازمان از طریق هماهنگی سامانمند فرآیندهای اصلی تجاری برای بهبود عملکرد اقتصادی بلندمدت یک شرکت و شبکه ارزش آن است (Carter & Rogers, 2008). ایده ابعاد سه‌گانه پایداری به‌منظور دستیابی به تعادل بین ابعاد اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی ارائه‌شده است. استراتژی پایداری باید عدم اطمینان آینده را در نظر بگیرد، که نیاز به افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای رسیدن به پایداری بیشتر زنجیره تأمین دارد. در ابتدا هزینه‌های سرمایه‌گذاری و ریسک‌های مرتبط به محیط طبیعی و جامعه منتقل می‌شوند. همچنین تا حد زیادی آن‌ها به درون زنجیره‌های تأمین منتقل و به‌وسیله تعداد زیادی از تأمین‌کنندگان جذب می‌شوند. از سوی دیگر، آگاهی رو به رشد مشتریان از اهمیت پذیرش استراتژی‌های پایداری و همچنین توسعه شاخص‌های دقیق‌تر پایداری برای شرایط کاری، حوادث، مقدار کربن و شاخص‌های فساد باعث شده است تا شرکت ها این هزینه ها و ریسک های پایداری را مورد توجه قرار دهند. وقایع اخیر زنجیره تامین مانند گوشت اسب سوپرمارکت های اروپایی، ریختن ساختمان پلاسکو و شرایط کاری ضعیف تامین کنندگان اپل نشان می دهند که چگونه ریسک های پایداری بر روی یک کسب و کار می تواند تاثیر بگذارد.

مسئولیت مدیران زنجیره تامین، تصمیم گیری در مورد منابع پایدار، توسعه محلی، مدیریت ارتباطات و بازیابی دارایی‌ها، در کاهش هزینه‌ها و به حداقل رساندن ریسک‌های پایداری است. در نتیجه، شناسایی ریسک‌های زنجیره تامین پایدار، ارزیابی تاثیر آنها و توسعه ابزارهای مدیریت ریسک به مسئله مهمی برای مدیریت زنجیره تامین پایدار تبدیل شده است (Hofmann et al, 2014). تعداد کلیدی از عوامل ریسک ممکن است تأثیر قابل توجهی بر روی عملکرد مدیریت زنجیره تامین داشته باشد. شناسایی عوامل ریسک کلیدی به ویژه هنگامی که منابع مدیریت ریسک محدود می شود، برای مدیران ضروری است. به رغم علاقه زیاد محققان در زمینه رابطه بین پایداری زنجیره تامین و ریسک ها، تحقیقات کمی در خصوص ریسک های مرتبط با پایداری زنجیره تامین صورت گرفته است. برخی از این تحقیقات تنها به ریسک های محیطی (Cousins et al, 2004) و برخی دیگر نیز به ابعاد مالی پرداخته اند. اندرسون (۲۰۰۶) که تحقیقات اولیه در این زمینه را انجام داده است، معتقد است هر یک از استراتژی های مدیریت ریسک باید ریسک‌های مرتبط با پایداری را در نظر بگیرد. با این حال در این تحقیقات تنها بر روی

تاثیرات منفی عملکرد ضعیف پایداری صرفا از جنبه مدیریت مالی پرداخته شده است. هافمن و همکاران (۲۰۱۴) فرایندهایی را که به وسیله آن‌ها مسائل زنجیره تامین ممکن است ریسک های پایداری را ایجاد کند را مطالعه کرده اند.

یکی از روش‌های شناسایی و ارزیابی ریسک، روش تحلیل حالت و دلایل شکست[1] (FMEA) است؛ FMEA ابزار تحلیل ریسک برای شناسایی و حذف شکست‌ها، مسائل و خطاهای بالقوه است که درزمینهٔ قابلیت اطمینان و ایمنی سیستم‌ها، طراحی فرایند و خدمات بکار می‌رود (Düe et al., 2013). حالت شکست به وضعیتی اشاره دارد که دران حالت یک جزء، سیستم، فرایند و غیره به‌طور بالقوه می‌تواند بشکند و اجازه ندهد تا به اهداف طراحی برسیم. در این روش، اولویت حالات شکست با اعداد اولویت ریسک تعیین می‌شود که با ضرب فاکتورهای ریسک شامل احتمال وقوع (O)، شدت (S) و قابلیت شناسایی (D) ریسک محاسبه می‌شود (Tuncel & Alpan, 2010). هدف پژوهش حاضر، توسعه یک روش جدید برای محاسبه اعداد اولویت ریسک فازی[2](FRPN) جهت شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های موجود در زنجیره تأمین پایدار با استفاده از تحلیل حالت و دلایل شکست است. اعداد اولویت ریسک فازی به‌صورت میانگین هندسی موزون فازی فاکتورهای ریسک تعریف و با کمک مجموعه‌های سطوح برش آلفا و مدل برنامه ریزی خطی محاسبه می‌شود. سپس با توجه به ناکارایی رویکردهای فازی موجود در اولویت‌بندی عوامل ریسک به‌ویژه زمانی که تعداد فاکتورهای ریسک زیاد می‌شود، در روش پیشنهادی از روابط ترجیح فازی برای این منظور استفاده می شود. ابتدا ریسک‌های موجود در زنجیره تامین پایدار شناسایی و سپس با بکارگیری این روش و با نظر تیم های بین وظیفه ای این ریسک‌ها در حوزه زنجیره تامین صنعت باطری مورد ارزیابی و اولویت بندی قرار می گیرند. در قسمت ۲ به بررسی مبانی و ادبیات مدیریت و ارزیابی ریسک و سپس بعد از تشریح ریسک‌های پایداری زنجیره تامین در قسمت ۳، رویکرد پیشنهادی را در قسمت ۴ ارائه خواهیم کرد. درنهایت و در قسمت ۵، عملکرد رویکرد پیشنهادی مورد تحلیل و پیشنهادات کاربردی ارائه می شود.

۲- روش شناسی پژوهش

الف) پیشینه نظری

در تحقیقات متعددی به بحث مدیریت و ارزیابی ریسک به طور عام و در زنجیره تامین به طور خاص پرداخته شده است. این تحقیقات را می‌توان به چند دسته تقسیم کرد؛ اول مطالعاتی که در آن ها به مرور ادبیات مدیریت ریسک زنجیره تامین پرداخته شده است (Tang, 2006). ریسک زنجیره تامین به صورت حاصل‌ضرب احتمال در اثر یک رخداد است و دو شاخص میزان تاثیر و احتمال وقوع ریسک در قالب ماتریس احتمال – اثر ریسک مورد استفاده قرار گرفته است (Thun & Hoenig, 2011). FMEA یک ابزار بهبود کیفیت است که ابتدا به صورت یک متدولوژی طراحی در دهه ۱۹۶۰ در صنعت هوافضا توسعه داده شد. با این حال، این ابزار به دلایل مختلفی از قبیل عدم توجه به عدم اطمینان، در نظر گرفتن وزن برابر برای فاکتورهای ریسک و در نظر نگرفتن فاکتورها دیگر ارزیابی ریسک مورد انتقاد قرار گرفته است. بسیاری از محققان از منطق فازی برای بهبود عملکرد این ابزار استفاده کرده اند (Safari et al., 2016; Wang et al., 2009). چانگ و همکاران (۱۹۹۹) از مجموعه های فازی برای ارزیابی فاکتورهای ریسک استفاده و سپس اولویت های ریسک حالات شکست بالقوه را با استفاده از تحلیل خاکستری تعیین کرده اند. باراگلیا و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از روش تاپسیس فازی و بکارگیری مجموعه های فازی برای ارزیابی فاکتورهای ریسک و وزن های اهمیت نسبی به اولویت بندی حالات شکست پرداختند. چن و کو (۲۰۰۷) با استفاده از عملگر متوسط هندسی موزون فازی[3]، عدد اولویت ریسک فازی را محاسبه کردند. وانگ و همکاران (۲۰۰۹) یک تعریف جدید برای محاسبه اعداد اولویت ریسک فازی با استفاده از عملگر میانگین هندسی موزون فازی[4] پیشنهاد کردند. در این مدل، عدد اولویت ریسک فازی با استفاده از مجموعه های برش [5] و مدل برنامه ریزی خطی بوسیله روش قطعی سازی

[1] Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)
[2] Fuzzy Risk Priority Numbers (FRPNs)
[3] Fuzzy ordered weighted geometric averaging
[4] Fuzzy weighted geometric mean
[5] - cut

مرکز ثقل برای اولویت بندی حالات شکست بدست می آمد. ژانگ و چو (۲۰۱۱) برای بالا بردن دقت و استواری اعداد اولویت ریسک فازی با ترکیب روش حداقل مربعات موزون و رتبه بندی جزئی، یک روش مبتنی بر اعداد اولویت ریسک فازی مبتنی بر روش وانگ و همکاران (۲۰۰۹) پیشنهاد کردند. آنها از مفهوم روابط ترجیح فازی با استفاده از مفهوم فاصله همینگ[۶] برای اولویت بندی جزئی مقادیر اعداد اولویت ریسک فازی استفاده کردند. با این حال، این روش به مقایسات زوجی هر یک از مقادیر اعداد اولویت ریسک فازی نیاز دارد که با افزایش تعداد حالات شکست باعث ناکارایی محاسباتی آن می شود. لیو و همکاران (۲۰۱۲) به ارزیابی ریسک در FMEA با استفاده از روش ویکور پرداختند. آنها از روش قطعی سازی برای محاسبه مقدار دقیق امتیار اعداد اولویت ریسک استفاده کردند. به زعم ماندال و مایتی (۲۰۱۴) در رویکرد قطعی سازی اعداد ریسک فازی، با محاسبه یک مقدار دقیق برای اعداد ریسک و سپس تصمیم‌گیری بر اساس این مقدار، استواری تصمیمات مورد تردید قرار می گیرد؛ در واقع با تصمیم گیری براساس یک مقدار قطعی، آنتروپی موجود در مجموعه های فازی نادیده گرفته می شود. آنها برای حل این مشکل، با ترکیب اندازه مقدار مشابهت اعداد فازی و تئوری امکان یک رویکرد یکپارچه برای گروه بندی حالات شکست پیشنهاد کردند. جیانگ و همکاران (۲۰۱۷) برای کاهش کاستی های موجود در محاسبه اعداد اولویت ریسک فازی، یک روش گواه فازی[۷] جدید را با استفاده از مجموعه های فازی و تئوری گواه دامپستر و شافر پیشنهاد کردند.

ب) ریسک های پایداری زنجیره تامین

عامل ریسک به‌صورت عدم اطمینان مرتبط با وقوع هر رویدادی در نظر گرفته می‌شود (Gurnani et al., 2012). دسته‌بندی‌های مختلفی از ریسک‌های مربوط به مدیریت زنجیره تأمین وجود دارد، مانند عوامل ریسک اقتصادی، عوامل ریسک زیست‌محیطی و عوامل ریسک اجتماعی. طیف گسترده‌ای از ریسک در شبکه‌های زنجیره تأمین وجود دارد، به‌طوری‌که این ریسک‌ها را می‌توان با توجه به اینکه منبع ریسک در داخل (درون‌زا) یا خارج (برون‌زا) شبکه زنجیره تأمین است طبقه‌بندی کرد (Vilko & Hallikas, 2012). ریسک‌های عام زنجیره تأمین شامل ریسک‌های عرضه مانند محدودیت‌های ظرفیت عرضه، مسائل کیفیت، مسائل نقدینگی تأمین‌کننده، وابستگی تأمین‌کننده، تغییرات طراحی محصول، تا خیرات تحویل (Chopra & Sodhi, 2004)، ریسک‌های تدارکات مانند نرخ‌های خرید، موجودی‌ها و خروج موجودی است (Hallikas et al, 2002). از سوی دیگر، آگاهی رو به رشد بازارها و جوامع از کسب‌وکارهای پایدار، ریسک‌های پایداری مختلفی را برای سازمان‌ها به بار آورده است. این ریسک‌ها در جنبه‌های مختلفی متفاوت از ریسک‌های عام زنجیره تأمین هستند. این ریسک‌ها به‌جای اختلال در عملیات زنجیره تأمین، به نتایج مرتبط با اکوسیستم طبیعی، شهرت شرکت، نتایج مالی و همچنین رعایت قوانین اشاره دارد. با توجه به بعد محیطی، می‌بایست نیازمندی‌های مرتبط باکیفیت یک اکوسیستم مشترک را برآورده ساخت؛ بعد اجتماعی به ایفای مسئولیت نسبت به کارمندان، مشتریان، شرکای تجاری، دولت‌ها و جوامع اشاره دارد و بعد مالی به ریسک‌های مرتبط با شرایط مالی، رفتار فریب آمیز شرکت‌ها و افراد و تلاش برای رشد پایدار مالی مربوط می‌شود (Pullman et al., 2009; Porter & Kramer, 2007).

بر اساس گزارش پیمان جهانی سازمان ملل، ریسک‌های پایداری بسیاری از صنایع شامل انتشار گازهای گلخانه‌ای، بلایای طبیعی، حوادث، مصرف انرژی، ضایعات بسته‌بندی، صدمات محیطی در لجستیک و حمل‌ونقل می‌شود. ریسک‌های دیگر پایداری ممکن است شامل تحریم محصولات شرکت، دعوی قضایی شرکت‌ها تا جبران صدمات مالی ناشی از حوادث محیطی، قانون‌شکنی، رفتار غیراخلاقی، ریسک‌های عدالت اجتماعی ناشی از اقدامات کاری و استخدام ناعادلانه، افزایش قیمت کالا و انرژی درنتیجه کمبود سوخت باشد. رویدادهای ریسک اجتماعی مانند کار کودک، برخورد غیراخلاقی با حیوانات، بی‌توجهی به محیط‌زیست، تثبیت قیمت، اتهامات رشوه، تقلب و نقض حق ثبت اختراع است (Hofmann et al, 2014). این ریسک‌ها با توجه به اینکه دارای تأثیر عمده‌ای بر روی شهرت سازمان‌ها هستند و می‌توانند باعث از دست دادن درآمد آن‌ها شود، تهدیداتی را برای شرکت‌ها به همراه دارد. علاوه بر این، این‌گونه ریسک‌ها ممکن است بدون هیچ‌گونه اختلال در عملیات شرکت‌ها، تأثیر

[6] Hamming distance
[7] Fuzzy evidential method

مخربی بر روی آن‌ها داشته باشد. ریسک‌های مرتبط با سه وجه اصلی پایداری در جدول ۱ آورده شده است که حاصل ترکیب طبقه‌بندی‌هایی است که در ادبیات تحقیق یافت شده است (Anderson, 2006; Giannakis & Papadopoulos, 2016; Haffman et al, 2014; Song et al, 2017).

جدول شماره (۱): ابعاد و مؤلفه‌های ریسک‌های پایداری زنجیره تأمین

ابعاد ریسک پایداری	عوامل	تعریف	منابع
ریسک اقتصادی (REC)	نوسانات قیمت/هزینه(REC_1)	بی‌ثباتی قیمت و هزینه که نمی‌تواند زمان تحویل مطمئن و به‌موقع و حفظ کیفیت را تضمین کند.	(Giannakis & Papadopoulos, 2016; Tang & Musa, 2011)
	تورم و تغییرات نرخ ارز(REC_2)	تورم و تغییرات نرخ ارز به دغدغه‌های مالی تبدیل می‌شود، و اثربخشی تأمین پایدار را تحت تأثیر قرار می‌دهد.	(Song et al., 2017; Tummala & Schoenherr, 2011)
	کاهش سهم بازار(REC_3)	کاهش سهم بازار ناشی از عوامل خارجی و داخلی (به‌عنوان‌مثال، رقابت و کیفیت پایین).	(Afgan & Carvalho, 2004)
	از دست دادن اعتبار و آسیب به برندهای تجاری(REC_4)	از دست دادن شهرت و اعتبار شرکت باعث می‌شود مشتریان شرکت را به عنوان منبع بالقوه رفع نیازشان در نظر نداشته باشند.	(Sodhi & Tang, 2009)
	تحریم(REC_5)	ممانعت از استفاده، خرید، یا مقابله با یک سازمان، که معمولاً به دلایل اجتماعی، اخلاقی و سیاسی رخ می‌دهد.	(Giannakis & Papadopoulos, 2016; Spicher et al., 2009)
	بحران‌های مالی(REC_6)	بخش بزرگی از ارزش اسمی دارایی‌های مالی را به‌طور ناگهانی از دست دادن.	(Giannakis & Papadopoulos, 2016)
ریسک اجتماعی (RSO)	محیط کار ناسالم و خطرناک(RSO_1)	شرایط کاری با عملیات خطرناک و محل کار نامطمئن/ استفاده از مواد خطرناک که ایمنی و سلامت کارکنان را تهدید می‌کند.	(Halldórsson et al., 2009)
	نقض حقوق بشر(RSO_2)	رفتاری که کرامت انسانی فردی را نقض کند، به‌عنوان‌مثال، استخدام کودکان و کار اجباری، تبعیض، زمان کار بیشتر از الزامات قانونی.	(Giannakis & Papadopoulos, 2016 ;(Song et al., 2017; Clift, 2003)
	عدم تحقق تعهد اجتماعی(RSO_3)	ناتوانی در مشارکت با جامعه محلی، آموزش، فرهنگ و توسعه فناوری، ایجاد شغل، بهداشت و درمان و سرمایه‌گذاری اجتماعی	Maloni & Brown, 2006; Song et al., 2017)
	نقض اخلاق در کسب‌وکار(RSO_4)	رفتارهایی که اخلاق کسب‌وکار را نقض کند، به‌عنوان‌مثال، فساد، تجارت ناعادلانه، تجاوز به حریم خصوصی.	(Roberts, 2003; Song et al., 2017)
	بی‌ثباتی اجتماعی/ ناآرامی(RSO_5)	بی‌نظمی و اختلال به علت اعتصاب، توقف کار و تظاهرات.	(Giannakis & Papadopoulos, 2016)
ریسک زیست‌محیطی (REN)	بلایای طبیعی(REN_1)	اختلالاتی با دفعات کم اما شدیداً آسیب‌زا (طوفان، سیل، طوفان، زلزله).	(Giannakis & Papadopoulos, 2016)
	استفاده ناکارا از منابع (REN_2)	استفاده ناکارا از منابع به منظور تولید و تحویل محصولات و یا خدمات.	(Giannakis & Papadopoulos, 2016; Song et al., 2017)
	آلودگی محیط	آلودگی های آب، هوا و خاک ناشی از	(Safari et al, 2016; Song et al.,

زیست(REN_3)	عملیات شرکت یا محصولات تولیدی.	2017)
تولیـــد زبالـــه‌هـــای خطرناک(REN_4)	به مواد غیرقابل استفاده، ناخواسته کـه در حین کار تولید شود و یـا ناشـی از یـک فرآیند،ماننـد تولیـد و حمـل و نقـل باشـند اطلاق می‌شود.	(Dües et al., 2013; Song et al., 2017)
عـدم رعایـت قـوانین پایداری(REN_5)	عدم تطابق با قوانین زیسـت محیطـی، اشتغال و مالی، قوانین ضـد رشـوه‌خـواری، قوانین کار / قانون برابری.	(Giannakis & Papadopoulos, 2016)

ج) رویکرد پیشنهادی

در این قسمت پس از ارائه یک سری تعاریف موردنیاز درزمینهٔ تئوری مجموعه‌های فازی، به نحوه محاسبه اعداد اولویت ریسک فازی بر اساس روش وانگ و همکاران (۲۰۰۹) و سپس اولویت‌بندی ریسک‌های فازی پرداخته می‌شود.

تعریف ۱ (Zadeh, 1965). اعداد فازی گونه خاصی از مجموعه‌های فازی هستند. یک عدد فازی یک مجموعه محدب است که با یک بازه معین و تابع عضویت مشخص می‌شود. اعداد فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای از مهم‌ترین این اعداد هستند. تابع عضویت عدد فازی مثلثی $\tilde{A}$ (a,b,c) به‌صورت زیر تعریف می‌شود ($_{\tilde{A}}(x)$ R $[0,1]$):

رابطه (۱)

$$_{\tilde{A}}(x) \quad \begin{cases} 0 & x \le a \\ \dfrac{(x-a)}{(b-a)} & a \quad x \quad b \\ \dfrac{(c-x)}{(c-b)} & b \le x \le c \\ 0 & x \quad a_3 \end{cases}$$

تعریف ۲ (Dubois & Prade, 1980). دو عدد فازی $\tilde{A}_1$ (a_1,b_2,c_3) و $\tilde{A}_2$ (a_2,b_2,c_2) و عدد اسکالر را در نظر بگیرید. بر اساس اصل گسترش زاده (۱۹۷۸) عملیات جبری بر روی اعداد فازی مثلثی به‌صورت روابط زیر انجام می‌شود:

$$\tilde{A}_1 + \tilde{A}_2 \quad (a_1 \quad a_2, b_1 \quad b_2, c_1 \quad c_2)$$

$$\tilde{A}_1 \quad \tilde{A}_2 = (a_1 \quad b_3, a_2 \quad b_2, a_3 \quad b_1)(a_1 \quad c_2, b_1 \quad b_2, c_1 \quad a_2)$$

$$\tilde{A}_1 \quad \tilde{A}_2 = (a_1 a_2, b_1 b_2, c_1 c_2) \ \ if \ \ \tilde{A}_1, \tilde{A}_2 \quad 0 \ or \ \tilde{A}_1, \tilde{A}_2 < 0$$

$$\tilde{A}_1 \quad \begin{array}{l} (a_1, b_1, c_1) \quad 0 \\ .(c_1, b_1, a_1)_{LR} \quad . \quad 0 \end{array}$$

تعریف ۳. $\tilde{A}$ را یک مجموعه فازی در نظر بگیرید. مجموعه‌های برش سطح این مجموعه به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

رابطه (۲)

$$A \quad \{x \in X \mid _{\tilde{A}}(x) \quad \}$$

بر این اساس، سطح برش عدد فازی مثلثی $\tilde{A}$ به‌صورت زیر خواهد بود:

رابطه (۳)

$$A \quad [(A)^L, (A)^U] \quad [a \quad (b \quad a), c \quad (c \quad b)], \ 0 \le \quad 1$$

بر اساس اصل گسترش زاده (۱۹۸۷) مجموعه فازی $\tilde{A}$ را می‌توان بر اساس مجموعه‌های سطح برش نیز بیان کرد:

$$\tilde{A} \quad \bigcup \quad A \ . \ 0 \quad 1$$

قضیه ۱. برای عدد فازی مثلثی $\tilde{A}$، a، b و c را می‌توان با استفاده از مجموعه‌های برش به‌صورت زیر به دست آورد:

رابطه (۴)

$$a \quad (A)_0^L \quad \min\{x \in X \mid _{\tilde{A}}(x) \quad 0\}$$

$$b \quad A_1^L \quad A_1^U \quad \min\{x \quad X \mid _{\tilde{A}}(x) \ge 1\} \quad \max\{x \quad X \mid _{\tilde{A}}(x) \quad 1\}$$

$$c = (A)_0^U = \max\{x \quad X \mid _{\tilde{A}}(x) \quad 0\}$$

اثبات. بر اساس مفهوم برش سطح صفر و یک داریم:

$A_0 \quad [(A)_0^L, (A)_0^U] \quad [a \quad 0(b \quad a), c \quad 0(c-b)] \quad [a, c]$

$A_1 \quad [(A)_1^L, (A)_1^U] \quad [a \quad (b \quad a), c \quad (c \quad b)] \quad [b, b]$

درنتیجه خواهیم داشت:

$a \quad (A)_0^L$

$b \quad (A)_1^L \quad (A)_1^U$

$c \quad (A)_0^U$

تعریف ۴ (Wang et al., 2009). میانگین موزون هندسی فازی n عدد فازی به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$\tilde{y} \quad f(\tilde{A}_1, \ldots, \tilde{A}_n; \tilde{w}_1, \ldots, \tilde{w}_n) \quad (\tilde{A}_1)^{\frac{\tilde{w}_1}{\tilde{w}_1 \cdots \tilde{w}_n}} \quad (\tilde{A}_2)^{\frac{\tilde{w}_2}{\tilde{w}_1 \cdots \tilde{w}_n}} \ldots \quad (\tilde{A}_n)^{\frac{\tilde{w}_n}{\tilde{w}_1 \cdots \tilde{w}_n}}$$

رابطه (۵)

$$\prod_{i\ 1}^{n} (\tilde{A}_i)^{\frac{\tilde{w}_i}{\sum_{j\ 1}^{n} \tilde{w}_j}} \quad (y_1, y_2, y_3)$$

$\tilde{A}_1, \ldots, \tilde{A}_n$ اعداد فازی مثبت هستند و $\tilde{w}_1, \ldots, \tilde{w}_n$ به ترتیب وزن‌های فازی این اعداد هستند. بر اساس قضیه ۱، $\tilde{y}$ یک عدد فازی مثلثی است که عناصر آن با استفاده از مجموعه‌های سطح برش صفر و یک و با استفاده از مدل‌های ریاضی زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۶)

$$y_1 = Min \prod_{i\ 1}^{n} (A_i)^{\frac{w_i}{\sum_{i\ 1}^{n} w_i}}$$

$$s.t. \quad (w_i)_0^L \quad w_i \quad (w_i)_0^U, \ i \quad 1, \ldots, n$$

$$(A_i)_0^L \quad A_i \quad (A_i)_0^U, \ i \quad 1, \ldots, n$$

رابطه (۷)

$$y_2 \quad Min \prod_{i\ 1}^{n} (A_i)^{\frac{w_i}{w_i}} \quad Max \prod_{i\ 1}^{n} (A_i)^{\frac{w_i}{w_i}}$$

$$s.t. \quad (w_i)_1^L \quad w_i \quad (w_i)_1^U, \ i \quad 1, \ldots, n$$

$$(A_i)_1^L \quad A_i \quad (A_i)_1^U, \ i \quad 1, \ldots, n$$

رابطه (۸)

$$y_3 \quad Max \prod_{i\ 1}^{n} (A_i)^{\frac{w_i}{w_i}}$$

$$s.t. \quad (w_i)_0^L \quad w_i \quad (w_i)_0^U, \ i \quad 1, \ldots, n$$

$$(A_i)_0^L \quad A_i \quad (A_i)_0^U, \ i \quad 1, \ldots, n$$

تعریف ۵ (Bonissone, 1980). درجه امکان بزرگی $\tilde{A}_1$ از $\tilde{A}_2$ به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

رابطه (۹)

$$V(\tilde{A}_1 \quad \tilde{A}_2) \quad \sup[\min(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2)]$$

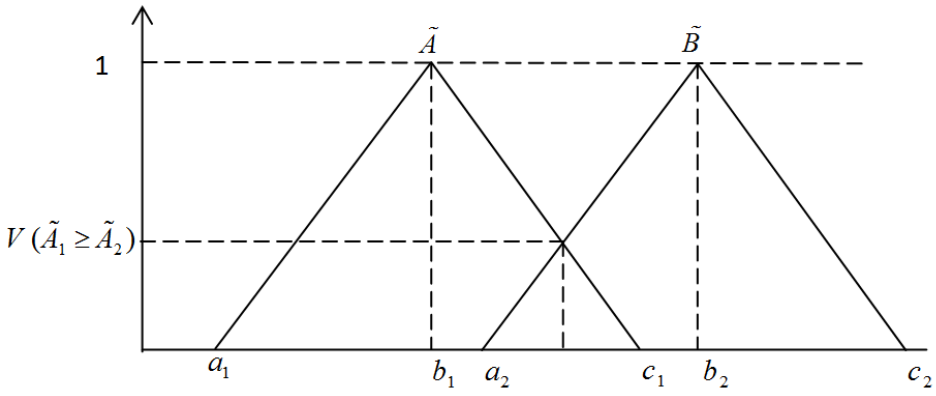
که مقدار آن با تابع عضویت زیر مشخص می‌شود:

رابطه (۱۰)

$$V(\tilde{A}_1 \quad \tilde{A}_2) \quad hgt(\tilde{A}_1 \cap \tilde{A}_2) \quad \begin{cases} 1 & b_1 \quad b_2 \\ 0 & a_2 \quad c_1 \\ \dfrac{a_2 \quad c_1}{(b_1 \quad c_1) \quad (b_2 \quad a_2)} & otherwise \end{cases}$$

در شکل ۱، $V(\tilde{A}_1 \quad \tilde{A}_2)$ نشان داده‌شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل شماره (۱): درجه امکان $V(\tilde{A}_1 \quad \tilde{A}_2)$

درجه امکان اینکه عدد فازی محدب $\tilde{A}$ از k عدد فازی محدب $\tilde{A}_i\ [i \quad 1,..,k\ ]$ بزرگ‌تر باشد، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$V(\tilde{A} \quad \tilde{A}_1, \tilde{A}_2, ..., \tilde{A}_k) \quad \min_{i}^{k} V(\tilde{A} \quad \tilde{A}_i)]\ i \quad 1, 2, ..., k$

برخلاف FMEA کلاسیک، در FMEA جدید از عبارات زبانی فازی برای اعداد اولویت ریسک استفاده می‌شود. علاوه براین، در FMEA کلاسیک فرض می‌شود که فاکتورهای ریسک O، S و D در محاسبه عدد اولویت ریسک دارای وزن برابر هستند. به‌زعم بن دایا و رائوف (۱۹۹۶) وزن‌های اهمیت نسبی فاکتورهای ریسک باید کاملاً متفاوت در نظر گرفته شوند. برای برطرف کردن این کاستی، برای محاسبه اعداد اولویت ریسک فازی، فاکتورهای ریسک با عبارات زبانی ارزیابی می‌شوند. جدول ۲ عبارات زبانی و اعداد فازی متناظر با این عبارات را که در این پژوهش برای ارزیابی فاکتورهای ریسک پایداری مورداستفاده قرار می‌گیرد را نشان می‌دهد. همچنین جدول ۳ عبارات زبانی و اعداد فازی متناظر با وزن اهمیت نسبی هر یک از فاکتورهای ریسک را بر اساس منبع (MaitiMandal & 2014 ,) نشان می‌دهد.

جدول شماره (۲): متغیرهای زبانی و اعداد فازی مربوط به فاکتورهای ریسک

احتمال وقوع	شدت	قابلیت شناسایی	اعداد فازی
شکست غیرمحتمل است	بدون تأثیر	تقریباً نامشخص	(۰/۲۵، ۰، ۰)
شکست‌های نسبتاً اندک	تأثیر کم	شانس پایین	(۰/۵۰، ۰/۲۵، ۰)
شکست های گاه به گاه	تاثیر متوسط	شانس متوسط	(۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵)
شکست های مکرر	تاثیر زیاد	شانس بالا	(۱، ۰/۷۵، ۰/۵۰)
شکست های تقریبا غیرقابل اجتناب	تاثیر مخرب	تقریباً مشخص	(۱، ۱، ۰/۷۵)

جدول شماره (۳): اعداد فازی مربوط به وزن اهمیت نسبی فاکتورهای ریسک

متغیرهای زبانی	اعداد فازی
خیلی کم	(۰/۲۵، ۰، ۰)
کم	(۰/۵۰، ۰/۲۵، ۰)
متوسط	(۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵)
زیاد	(۱، ۰/۷۵، ۰/۵۰)
خیلی زیاد	(۱، ۱، ۰/۷۵)

فرض کنید n حالت شکست برای ارزیابی وجود داشته باشد $(i = 1,...,n)$، که توسط m تیم FMEA می بایست اولویت بندی شود $(j = 1,...,m)$. فرض کنید $\tilde{O}_{ij}$ $(O_{ijL}, O_{ijM}, O_{ijU})$، $\tilde{S}_{ij}$ $(S_{ijL}, S_{ijM}, S_{ijU})$ و $\tilde{D}_{ij} = (D_{ijL}, D_{ijM}, D_{ijU})$ نرخ های فازی i امین حالت شکست مربوط به فاکتورهای ریسک، و $\tilde{w}o_{ij}$ $(wo_{ijL}, wo_{ijM}, wo_{ijU})$،

$(wd_{ijL}, wd_{ijM}, wd_{ijU})$ و $\tilde{ws}_{ij}$ $(ws_{ijL}, ws_{ijM}, ws_{ijU})$ وزن های فازی فاکتورهای ریسک باشند که توسط j امین تیم تهیه شده است. h_j وزن های اهمیت نسبی m تیم ارزیابی باشد ($\sum_{j=1}^{m} h_j = 1$). براساس این فرضیات n حالت شکست را می توان اولویت بندی کرد. برای این منظور ابتدا براساس روابط زیر نظرات تیم های ارزیابی را تجمیع می کنیم:

رابطه (۱۱) $\tilde{O}_i = \sum_{j=1}^{m} h_j \tilde{O}_{ij} = \sum_{j=1}^{m} h_j O_{ijL}, \sum_{j=1}^{m} h_j O_{ijM}, \sum_{j=1}^{m} h_j O_{ijU} \quad (O_{iL}, O_{iM}, O_{iU}), i = 1,\ldots,n$

رابطه (۱۲) $\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^{m} h_j \tilde{S}_{ij} = \sum_{j=1}^{m} h_j S_{ijL}, \sum_{j=1}^{m} h_j S_{ijM}, \sum_{j=1}^{m} h_j S_{ijU} \quad (S_{iL}, S_{ijM}, S_{iU}), i = 1,\ldots,n$

رابطه (۱۳) $\tilde{D}_i = \sum_{j=1}^{m} h_j \tilde{D}_{ij} = \sum_{j=1}^{m} h_j D_{ijL}, \sum_{j=1}^{m} h_j D_{ijM}, \sum_{j=1}^{m} h_j D_{ijU} \quad (D_{iL}, D_{iM}, D_{iU}), i = 1,\ldots,n$

رابطه (۱۴) $\tilde{wo} = \sum_{j=1}^{m} h_j \tilde{wo}_j = \sum_{j=1}^{m} h_j wo_{jL}, \sum_{j=1}^{m} h_j wo_{jM}, \sum_{j=1}^{m} h_j wo_{jU} \quad (wo_L, wo_M, wo_U)$

رابطه (۱۵) $\tilde{ws} = \sum_{j=1}^{m} h_j \tilde{ws}_j = \sum_{j=1}^{m} h_j ws_{jL}, \sum_{j=1}^{m} h_j ws_{jM}, \sum_{j=1}^{m} h_j ws_{jU} \quad (ws_L, ws_M, ws_U)$

رابطه (۱۶) $\tilde{wd} = \sum_{j=1}^{m} h_j \tilde{wd}_j = \sum_{j=1}^{m} h_j wd_{jL}, \sum_{j=1}^{m} h_j wd_{jM}, \sum_{j=1}^{m} h_j wd_{jU} \quad (wd_L, wd_M, wd_U)$

در FMEA کلاسیک اعداد اولویت ریسک به‌صورت حاصل‌ضرب ساده فاکتورهای ریسک بدون در نظر گرفتن وزن‌های اهمیت نسبی آن‌ها تعریف می‌شد. برای حل این مشکل، وانگ و همکاران (۲۰۰۹) از میانگین موزون هندسی فازی برای محاسبه اعداد اولویت ریسک فازی استفاده کردند. بااین‌حال، این روش دارایی ناکارایی محاسباتی است. در این پژوهش اعداد اولویت ریسک فازی به‌صورت میانگین موزون هندسی فازی تعریف می‌شود، با این تفاوت که به‌جای استفاده از برش‌های سطوح مختلف و سپس محاسبه مرکز ثقل، تنها از برش‌های سطح صفر و یک و از روابط ترجیح فازی برای اولویت‌بندی ریسک‌های پایداری استفاده می‌شود.

بر اساس تعریف ۴، عدد اولویت ریسک فازی هر حالت شکست بر اساس رابطه زیر بدست می‌آید:

رابطه (۱۷)
$$\tilde{RPN}_i = f(\tilde{O}_i, \tilde{S}_i, \tilde{D}_i; \tilde{wo}, \tilde{ws}, \tilde{wd}) = (\tilde{O}_i)^{\frac{\tilde{wo}}{\tilde{wo}+\tilde{ws}+\tilde{wd}}} (\tilde{S}_i)^{\frac{\tilde{ws}}{\tilde{wo}+\tilde{ws}+\tilde{wd}}} (\tilde{D}_i)^{\frac{\tilde{wd}}{\tilde{wo}+\tilde{ws}+\tilde{wd}}} \quad (RPN_{iL}, RPN_{iM}, RPN_{iU}) \quad i = 1,\ldots,n$$

بر اساس قضیه ۱، با توجه به اینکه اعداد اولویت ریسک مربوط به هر یک از حالات شکست به‌صورت اعداد فازی مثلثی هستند، در رابطه فوق اعداد اولویت ریسک فازی مثلثی را می‌توان با مجموعه‌های برش سطح صفر و یک‌بر اساس مدل‌های زیر به دست آورد.

رابطه (۱۸)
$$RPN_{iL} = Min\left\{(O_i)^{\frac{wo}{wo+ws+wd}} \times (S_i)^{\frac{ws}{wo+ws+wd}} (D_i)^{\frac{wd}{wo+ws+wd}}\right\}$$

$$s.t. \quad (O_i)_0^L \le O_i \le (O_i)_0^U$$
$$(S_i)_0^L \le S_i \le (S_i)_0^U$$
$$(D_i)_0^L \le D_i \le (D_i)_0^U$$
$$(wo)_0^L \le wo \le (wo)_0^U$$
$$(ws)_0^L \le ws \le (ws)_0^U$$
$$(wd)_0^L \le wd \le (wd)_0^U$$

$$RPN_{iM} \quad Min \left((O_i)^{\frac{wo}{wo+ws+wd}} \quad (S_i)^{\frac{ws}{wo+ws+wd}} \quad (D_i)^{\frac{wd}{wo+ws+wd}} \right)$$

$$s.t. \quad (O_i)_1^L \le O_i \le (O_i)_1^U$$
$$(S_i)_1^L \le S_i \le (S_i)_1^U$$
$$(D_i)_1^L \le D_i \le (D_i)_1^U$$
$$(wo)_1^L \le wo \le (wo)_1^U$$
$$(ws)_1^L \quad ws \quad (ws)_1^U$$
$$(wd)_1^L \quad wd \quad (wd)_1^U$$

رابطه (۱۹)

$$RPN_{iU} = Max \left((O_i)^{\frac{wo}{wo+ws\ wd}} \quad (S_i)^{\frac{ws}{wo+ws\ wd}} \times (D_i)^{\frac{wd}{wo+ws\ wd}} \right)$$

$$s.t. \quad (O_i)_0^L \quad O_i \quad (O_i)_0^U$$
$$(S_i)_0^L \quad S_i \quad (S_i)_0^U$$
$$(D_i)_0^L \quad D_i \quad (D_i)_0^U$$
$$(wo)_0^L \quad wo \quad (wo)_0^U$$
$$(ws)_0^L \quad ws \quad (ws)_0^U$$
$$(wd)_0^L \quad wd \quad (wd)_0^U$$

رابطه (۲۰)

در این پژوهش برای اولویت‌بندی هر یک از ریسک‌های پایداری (حالات شکست) از مفهوم ترجیح فازی بونیسون (۱۹۸۰) بر اساس تعریف ۵ استفاده خواهد شد. در این روش برخلاف روش وانگ و همکاران (۲۰۰۹) برای اولویت‌بندی حالات شکست، تنها محاسبه سطوح برش صفر و یک اعداد اولویت فازی کافی است. درحالی‌که در روش وانگ و همکاران که مبتنی بر مفهوم مرکز ثقل عدد فازی است، نیاز به انجام محاسبات زیاد برای تعیین اعداد اولویت فازی در سطوح مختلف سطح برش و سپس محاسبه مرکز ثقل بر اساس مجموعه‌های سطح برش است. در روش پیشنهادی برای برطرف کردن این کاستی، از روابط ترجیحی برای مقایسه زوجی ریسک‌های پایداری بر اساس رابطه ۱۰ استفاده می‌شود.

۳- نتایج و بحث

در این بخش به تشریح نحوه ارزیابی هر یک از ریسک‌های پایداری زنجیره تأمین با به‌کارگیری روش رویکرد پیشنهادی در صنعت تولید باطری و سپس ارائه بینش‌های مدیریتی می‌پردازیم. صنعت تولید باطری یکی از صنایع مهم و راهبردی در زنجیره ارزش اقتصادی هر کشوری است که در صورت عدم توجه به عوامل ریسک‌های اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی در زنجیره تأمین آن می‌تواند در بلندمدت این صنعت را با مشکلات بزرگی روبه‌رو کند.

شرکت توسعه منابع انرژی توان به‌عنوان بزرگ‌ترین گروه تولیدکننده باطری در خاورمیانه، باهدف پشتیبانی منسجم از نیروهای مسلح در حوزه انرژی و مشارکت در طرح‌های ملی مرتبط با انرژی است. زیرساخت این شرکت همان شرکت سهامی باطری-سازی نیرو است که ده‌ها سال در ایران و جهان آن را با برند خوش‌نام صبا باطری می‌شناسند. شرکت توان با برخورداری از ظرفیت‌های صنعتی مبتنی بر فناوری روز به‌عنوان مرجع اصلی تأمین نیاز نیروهای مسلح، شرکتی است که در عرصه نیازهای کشور به انرژی نیز به‌عنوان شرکت و نهاد معتبر و تأثیرگذار حضور دارد و در طرح‌های اولویت‌دار ملی با سایر سازمان‌ها و نهادهای قانونی کشور همکاری می‌کند. حوزه فعالیت شرکت توسعه منابع انرژی توان به‌طور خلاصه عبارت است از تحقیق، طراحی و توسعه سامانه‌ها و آرایه‌های پیشرفته هیبریدی متشکل از دستگاه‌های تولید انرژی، دستگاه‌های ذخیره‌ساز و خدمات مدیریت مصرف انرژی.

برای انجام این پژوهش، یک تیم ارزیابی ریسک‌های پایداری شامل ۷ تیم بین وظیفه‌ای برای ارزیابی ۱۶ عامل ریسک پایداری تشکیل می‌شود. این عوامل بامطالعه ادبیات تحقیق شناسایی و سپس توسط تیم‌های ارزیابی در صنعت باطری مورد تأیید

قرارگرفته‌اند (جدول ۱). به دلیل سختی ارزیابی دقیق فاکتورهای ریسک و وزن‌های اهمیت نسبی، از این تیم ها خواسته می‌شود تا با استفاده از جداول ۲ و ۳ به ارزیابی این فاکتورها بپردازند. با توجه به اهمیت متفاوت هر یک از این تیم ها، به هریک از آن‌ها وزن‌های متفاوتی تخصیص داده می‌شود. ابتدا از تیم ها خواسته می‌شود تا هر یک از مؤلفه‌های ریسک شامل احتمال، شدت و قابلیت شناسایی را با استفاده از متغیرهای زبانی جدول ۳ مورد ارزیابی قرار دهند. وزن‌های اهمیت تجمعی این سه فاکتور پس از تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد فازی و سپس تجمیع نظرات خبرگان با استفاده از روابط ۱۶-۱۴ محاسبه و در جدول ۴ آورده شده است.

جدول شماره (۴): ارزیابی تجمعی وزن‌های اهمیت نسبی فاکتورهای ریسک

	احتمال	شدت	قابلیت شناسایی
وزن‌های اهمیت نسبی	(۰/۸۸۱، ۰/۶۸۷، ۰/۴۵۲)	(۰/۹۸۴، ۰/۸۵۱، ۰/۵۸۱)	(۰/۵۵۴، ۰/۳۱۵، ۰/۱۵۳)

سپس این تیم‌ها ابعاد و عوامل ریسک‌های شناسایی‌شده پایداری که در جدول ۱ نشان داده‌شده است را برحسب هر یک از فاکتورهای ریسک با متغیرهای زبانی مورد ارزیابی قرار می‌دهند. وزن‌های تجمیعی هر یک از عوامل ریسک‌های پایداری برحسب هر یک از فاکتورهای ریسک با استفاده از روابط ۱۳-۱۱ محاسبه و در جدول ۵ آورده شده است. با توجه به اینکه وزن اهمیت فاکتورها و نمره عوامل ریسک پایداری به‌صورت اعداد فازی هستند، بر اساس رابطه ۱۷ ریسک کلی هر یک از ۱۶ عامل ریسک پایداری به‌صورت یک عدد فازی خواهد بود که بر اساس مدل‌های برنامه‌ریزی غیرخطی روابط ۲۰-۱۸ بدست آورده شده است. این اعداد فازی به اعداد اولویت ریسک فازی اشاره دارد که در ستون آخر جدول ۵ آورده شده‌اند.

جدول شماره (۵): ارزیابی تجمعی احتمال، شدت و قابلیت شناسایی عوامل ریسک‌های پایداری

ریسک‌های پایداری	احتمال	شدت	قابلیت شناسایی	اعداد اولویت ریسک فازی
REC1	(۰/۸۳۱، ۰/۶۴۶، ۰/۴۶۱)	(۰/۵۶۵، ۰/۴۴۰، ۰/۳۱۴)	(۰/۵۱۸، ۰/۴۰۳، ۰/۲۸۸)	(۰/۶۹۲، ۰/۵۰۰، ۰/۳۳۵)
REC2	(۰/۷۶۷، ۰/۵۹۶، ۰/۴۲۶)	(۰/۷۳۸، ۰/۵۷۴، ۰/۴۱۰)	(۰/۵۵۰، ۰/۴۲۸، ۰/۳۰۵)	(۰/۷۳۴، ۰/۵۵۴، ۰/۳۷۴)
REC3	(۰/۸۳۹، ۰/۶۵۳، ۰/۴۶۶)	(۰/۷۷۴، ۰/۶۰۲، ۰/۴۳۰)	(۰/۵۳۴، ۰/۴۱۵، ۰/۲۹۷)	(۰/۷۸۱، ۰/۵۸۲، ۰/۳۸۷)
REC4	(۰/۷۶۷، ۰/۵۹۶، ۰/۴۲۶)	(۰/۵۹۴، ۰/۴۶۲، ۰/۳۳۰)	(۰/۶۴۴، ۰/۵۰۱، ۰/۳۵۸)	(۰/۶۸۸، ۰/۵۱۵، ۰/۳۵۸)
REC5	(۰/۸۲۵، ۰/۶۴۱، ۰/۴۵۸)	(۰/۵۵۸، ۰/۴۳۴، ۰/۳۱۰)	(۰/۵۱۴، ۰/۳۹۹، ۰/۲۸۵)	(۰/۶۸۵، ۰/۴۹۵، ۰/۳۳۱)
REC6	(۰/۸۸۳، ۰/۶۸۶، ۰/۴۹۰)	(۰/۷۷۴، ۰/۶۰۲، ۰/۴۳۰)	(۰/۷۷۰، ۰/۵۹۹، ۰/۴۲۸)	(۰/۸۳۱، ۰/۶۳۱، ۰/۴۴۲)
RSO1	(۰/۷۳۸، ۰/۵۷۴، ۰/۴۱۰)	(۰/۵۷۶، ۰/۴۴۸، ۰/۳۲۰)	(۰/۴۵۵، ۰/۳۵۴، ۰/۲۵۳)	(۰/۶۴۵، ۰/۴۷۲، ۰/۳۱۶)
RSO2	(۰/۸۸۷، ۰/۶۹۰، ۰/۴۹۳)	(۰/۶۴۸، ۰/۵۰۴، ۰/۳۶۰)	(۰/۸۹۵، ۰/۶۹۶، ۰/۴۹۷)	(۰/۸۱۲، ۰/۵۹۸، ۰/۴۰۶)
RSO3	(۰/۵۹۳، ۰/۴۶۱، ۰/۳۳۰)	(۰/۶۵۷، ۰/۵۱۱، ۰/۳۶۵)	(۰/۷۷۰، ۰/۵۹۹، ۰/۴۲۸)	(۰/۶۷۴، ۰/۵۰۵، ۰/۳۵۰)
RSO4	(۰/۶۹۵، ۰/۵۴۰، ۰/۳۸۶)	(۰/۶۵۲، ۰/۵۰۷، ۰/۳۶۲)	(۰/۶۱۴، ۰/۴۷۸، ۰/۳۴۱)	(۰/۶۷۱، ۰/۵۱۴، ۰/۳۶۱)
RSO5	(۰/۶۹۵، ۰/۵۴۰، ۰/۳۸۶)	(۰/۴۱۴، ۰/۳۲۲، ۰/۲۳۰)	(۰/۵۰۳، ۰/۳۹۱، ۰/۲۷۹)	(۰/۵۵۹، ۰/۴۰۳، ۰/۲۷۱)
REN1	(۰/۹۰۰، ۰/۷۰۰، ۰/۵۰۰)	(۰/۶۶۶، ۰/۵۱۸، ۰/۳۷۰)	(۰/۹۰۰، ۰/۷۰۰، ۰/۵۰۰)	(۰/۸۲۵، ۰/۶۱۰، ۰/۴۱۵)
REN2	(۰/۷۲۳، ۰/۵۶۳، ۰/۴۰۲)	(۰/۸۷۳، ۰/۶۷۹، ۰/۴۸۵)	(۰/۶۷۷، ۰/۵۲۷، ۰/۳۷۶)	(۰/۸۰۸، ۰/۶۰۷، ۰/۴۱۷)
REN3	(۰/۸۱۲، ۰/۶۳۱، ۰/۴۵۱)	(۰/۸۷۳، ۰/۶۷۹، ۰/۴۸۵)	(۰/۰۶۱، ۰/۰۴۷، ۰/۰۳۴)	(۰/۶۹۱، ۰/۴۲۰، ۰/۱۸۷)
REN4	(۰/۵۷۰، ۰/۴۴۳، ۰/۳۱۷)	(۰/۶۳۰، ۰/۴۹۰، ۰/۳۵۰)	(۰/۵۶۵، ۰/۴۴۰، ۰/۳۱۴)	(۰/۶۰۶، ۰/۴۶۴، ۰/۳۲۵)
REN5	(۰/۷۷۰، ۰/۵۹۹، ۰/۴۲۸)	(۰/۹۰۰، ۰/۷۰۰، ۰/۵۰۰)	(۰/۶۲۸، ۰/۴۸۹، ۰/۳۴۹)	(۰/۸۳۲، ۰/۶۲۱، ۰/۴۲۲)

سپس، از رابطه ۱۰ برای محاسبه درجه بزرگی هر یک از عوامل ریسک پایداری زنجیره تأمین نسبت به سایر عوامل استفاده می‌شود. این روش برخلاف روش وانگ و همکاران (۲۰۰۹) دارای کارایی محاسباتی بالایی است. مقدار درجه بزرگی اعداد اولویت ریسک فازی ۱۶ عامل ریسک پایداری نشان‌دهنده رتبه و اولویت این عوامل است که در جدول ۶ آورده شده‌اند. همان‌طوری که مشاهده می‌شود، این نتایج با نتایج اولویت‌بندی روش وانگ و همکاران سازگاری معناداری دارد. بر اساس این نتایج، عوامل ریسک‌های پایداری در صنعت باطری به ترتیب اولویت شامل بحران‌های مالی، عدم رعایت قوانین پایداری، بلایای طبیعی، استفاده ناکارآمد از منابع، نقض حقوق بشر، کاهش سهم بازار و ... است.

جدول شماره (۶): رتبه‌بندی عوامل ریسک‌های پایداری بر اساس روش‌های مختلف

	ریسک‌های پایداری	رویکرد پیشنهادی		رویکرد وانگ و همکاران	
		مقدار بزرگی	رتبه	مقدار قطعی	رتبه
REC 1	نوسانات قیمت/هزینه	۰/۶۵۶	۱۰	۰/۵۰۹	۱۱
REC 2	تورم و تغییرات نرخ ارز	۰/۷۹۱	۷	۰/۵۵۴	۷
REC 3	کاهش سهم بازار	۰/۸۷۴	۶	۰/۵۸۳	۶
REC 4	از دست دادن اعتبار و آسیب به برندهای تجاری	۰/۶۸۰	۸	۰/۵۲۰	۸
REC 5	تحریم	۰/۶۴۱	۱۲	۰/۵۰۴	۱۲
REC 6	بحران‌های مالی	۱	۱	۰/۶۳۵	۱
RSO 1	محیط کار ناسالم و خطرناک	۰/۵۶۱	۱۳	۰/۴۷۸	۱۳
RSO 2	نقض حقوق بشر	۰/۹۱۸	۵	۰/۶۰۵	۵
RSO 3	عدم تحقق تعهد اجتماعی	۰/۶۴۸	۱۱	۰/۵۱۰	۱۰
RSO 4	نقض اخلاق در کسب‌وکار	۰/۶۶۲	۹	۰/۵۱۵	۹
RSO 5	بی‌ثباتی اجتماعی/ ناآرامی	۰/۳۳۹	۱۶	۰/۴۱۱	۱۶
REN 1	بلایای طبیعی	۰/۹۴۸	۳	۰/۶۱۷	۳
REN 2	استفاده ناکارا از منابع	۰/۹۳۸	۴	۰/۶۱۱	۴
REN 3	آلودگی محیط‌زیست	۰/۵۴۱	۱۴	۰/۴۳۳	۱۵
REN 4	تولید زباله‌های خطرناک	۰/۴۹۵	۱۵	۰/۴۶۵	۱۴
REN 5	عدم رعایت قوانین پایداری	۰/۹۷۵	۲	۰/۶۲۵	۲

از جنبه کاربردی این نتایج می‌تواند به مدیران در مدیریت ریسک زنجیره تأمین پایدار کمک کند. با کمک نتایج رویکرد پیشنهادی، مدیران زنجیره تأمین می‌توانند ابزاری برای ارزیابی، کنترل و کاهش فاکتورهای ریسک شناسایی‌شده در اختیار داشته باشند. از جنبه تئوری این پژوهش یک روش شناسایی فاکتورهای ریسک زنجیره تأمین پایدار را توسعه داد. با چنین ابزار تصمیم‌گیری، فرایند مدیریت ریسک زنجیره تأمین به‌صورت پیشگیرانه صورت می‌گیرد، درواقع می‌توان با شناسایی فاکتورهای ریسک از قبل به برنامه‌ریزی برای مدیریت ریسک کمک کرد. این رویکرد می‌تواند به مدیران کمک کند تا ازنظر مالی، زیست‌محیطی و اجتماعی تصمیمات منطقی بگیرند. از جنبه کاربردی نیز می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. اولاً، کلیدی‌ترین فاکتور ریسک، بحران‌های مالی است، یعنی به دلیل نوسانات ارزی بخش بزرگی از ارزش اسمی دارایی‌های مالی یک زنجیره تأمین را به‌طور ناگهانی از دست می‌دهند که می‌تواند عملکرد اقتصادی، زیست‌محیطی و حتی اجتماعی شرکت‌های باطری‌سازی را مختل کند. مدیران باید سعی کنند برای کنترل نوسانات ارزی به‌جای ایجاد بدهی‌های ارزی، بخشی از دارایی‌های خود را به‌صورت ارزی نگهداری کنند تا در مواقع بحرانی توان خرید مواد اولیه وارداتی و پرداخت هزینه‌های خرید تجهیزات را داشته باشند. درواقع هدف کنترل مالی زنجیره تأمین برای رسیدن به اهداف پایداری در شرایط بروز بحران‌های ارزی است. همچنین، عدم رعایت

قوانین پایداری به‌عنوان دومین عامل کلیدی به عدم تطابق با قوانین زیست‌محیطی، اشتغال و مالی، قوانین ضد رشوه‌خواری، قوانین کار و برابری اشاره دارد. مدیران می‌بایست در خصوص مکان‌یابی برای استقرار کارخانه‌های باطری‌سازی و واحدهای تولید و بازیافت مواد اولیه خصوصاً سرب و همچنین خرید فناوری‌های موردنیاز این صنعت بامطالعه و برنامه‌ریزی تصمیم‌گیری کنند تا در آینده به دلایل قانونی متحمل هزینه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و حتی اجتماعی نشوند. سومین عامل کلیدی که می‌بایست موردتوجه مدیران زنجیره تأمین قرار گیرد وقوع بلایای طبیعی مانند سیل، طوفان، زلزله است که می‌تواند باعث اختلال و ازهم‌پاشیدگی زنجیره تأمین شود. بروز این بلایا علاوه بر صدمات سنگین مالی می‌تواند باعث انتشار انواع گازها و مواد خطرناک در کارخانه‌های تولید و بازیافت مواد اولیه باطری شود. مدیران می‌توانند راه‌کارهای پیشگیرانه متعددی ازجمله مکان‌یابی مناسب تسهیلات، استفاده از منبع یابی منعطف، خرید فناوری‌های سازگار با محیط و غیره را موردتوجه قرار دهند.

استراتژی‌های پایداری علاوه بر هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای ایجاد زنجیره تأمین پایدار، باید سطح عدم اطمینان آینده و درنتیجه ریسک‌هایی که تصمیمات ممکن است بر روی ابعاد محیطی، اقتصادی و اجتماعی بگذارد را در نظر بگیرد. برای ارزیابی این ریسک‌ها از FMEA و محاسبه اعداد اولویت ریسک فازی استفاده می‌شود. برای محاسبه اعداد اولویت ریسک فازی از روش میانگین موزون هندسی فازی و مدل برنامه‌ریزی خطی مبتنی بر مجموعه‌های برش سطح الا استفاده و سپس برای بهبود کارایی محاسباتی از روابط ترجیح فازی برای مقایسه این اعداد استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده آن است که رویکرد پیشنهادی قادر است با کارایی محاسباتی بالیبا نتایج مشابه روش وانگ و همکاران را ارائه دهد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که بحران‌های مالی، عدم رعایت قوانین پایداری، بلایای طبیعی، استفاده ناکارآمد از منابع، نقض حقوق بشر، کاهش سهم بازار به ترتیب از مهم‌ترین عوامل ریسک‌های پایداری در صنعت باطری هستند.

در تحقیقات آتی می‌توان به توسعه روش پیشنهادی برای اولویت‌بندی اعداد اولویت ریسک فازی پرداخت. نحوه محاسبه و رتبه‌بندی اعداد اولویت ریسک فازی و همچنین استواری مقادیر این اعداد، مواردی هستند که می‌تواند موردتوجه محققان قرار بگیرد. بررسی روابط بین فاکتورهای ریسک می‌تواند به تحلیل دقیق‌تر ریسک کمک کند. همچنین برای کنترل و کاهش ریسک‌های شناسایی‌شده می‌توان در تحقیقات آتی شاخص‌های پاسخ ریسک را به کمک تکنیک‌هایی مانند تاپ سیس رتبه‌بندی و به مدیران در جهت تعیین استراتژی کاهش ریسک کمک کرد.

٤- منابع

1. Anderson, D. R. (2006). The critical importance of sustainability risk management. *Risk Management*, *53*(4), 66.
2. Anderson, D. R., & Anderson, K. E. (2009). Sustainability risk management. *Risk Management and Insurance Review*, *12*(1), 25-38.
3. Afgan, N. H., & Carvalho, M. G. (2004). Sustainability assessment of hydrogen energy systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, *29*(13), 1327-1342.
4. Bonissone, P. P. (1980). A fuzzy sets based linguistic approach: theory and applications. In *Proceedings of the 12th conference on Winter simulation*. IEEE Press.
5. Braglia, M., Frosolini, M., & Montanari, R. (2003). Fuzzy TOPSIS approach for failure mode, effects and criticality analysis. *Quality and reliability engineering international*, *19*(5), 425-443.
6. Ben-Daya, M., & Raouf, A. (1996). A revised failure mode and effects analysis model. *International Journal of Quality & Reliability Management*, *13*(1), 43-47.
7. Clift, R. (2003). Metrics for supply chain sustainability. *Clean Technologies and Environmental Policy*, *5*(3-4), 240-247.
8. Carter, C. R., & Rogers, D. S. (2008). A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory. *International journal of physical distribution & logistics management*, *38*(5), 360-387.
9. Cousins, P. D., Lamming, R. C., & Bowen, F. (2004). The role of risk in environment-related supplier initiatives. *International Journal of Operations & Production Management*, *24*(6), 554-565.

10. Chang, C. L., Wei, C. C., & Lee, Y. H. (1999). Failure mode and effects analysis using fuzzy method and grey theory. *Kybernetes*, *28*(9), 1072-1080.
11. Chen, L. H., & Ko, W. C. (2009). Fuzzy approaches to quality function deployment for new product design. *Fuzzy sets and systems*, *160*(18), 2620-2639.
12. Chopra, S., & Sodhi, M. S. (2004). Managing risk to avoid supply-chain breakdown. *MIT Sloan management review*, *46*(1), 53.
13. Dubois, D., & Prade, H. (1980). Systems of linear fuzzy constraints. *Fuzzy sets and Systems*, *3*(1), 37-48.
14. Dües, C. M., Tan, K. H., & Lim, M. (2013). Green as the new Lean: how to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain. *Journal of cleaner production*, *40*, 93-100.
15. Giannakis, M., & Papadopoulos, T. (2016). Supply chain sustainability: A risk management approach. *International Journal of Production Economics*, *171*, 455-470.
16. Godfrey, P. C., Merrill, C. B., & Hansen, J. M. (2009). The relationship between corporate social responsibility and shareholder value: An empirical test of the risk management hypothesis. *Strategic management* journal, 30(4), 425-445.
17. Gurnani, H., Mehrotra, A., & Ray, S. (2012). *Supply chain disruptions: Theory and practice of managing risk*. London: Springer.
18. Hallikas, J., Virolainen, V. M., &Tuominen, M. (2002). Risk analysis and assessment in network environments: A dyadic case study. *International journal of production economics*, *78*(1), 45-55.
19. Hofmann, H., Busse, C., Bode, C., & Henke, M. (2014). Sustainability-related supply chain risks: conceptualization and management. *Business Strategy and the Environment*, *23*(3), 160-172.
20. Halldórsson, Á., Kotzab, H., & Skjøtt-Larsen, T. (2009). Supply chain management on the crossroad to sustainability: a blessing or a curse? *Logistics Research*, *1*(2), 83-94.
21. Krysiak, F. C. (2009). Risk management as a tool for sustainability. *Journal of business ethics*, *85*, 483-492.
22. Liu, H. C., Liu, L., Liu, N., & Mao, L. X. (2012). Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, *39*(17), 12926-12934.
23. Jiang, W., Xie, C., Zhuang, M., & Tang, Y. (2017). Failure mode and effects analysis based on a novel fuzzy evidential method. *Applied Soft Computing*, *57*, 672-683.
24. Maloni, M. J., & Brown, M. E. (2006). Corporate social responsibility in the supply chain: an application in the food industry. *Journal of business ethics*, *68*(1), 35-52.
25. Mandal, S., &Maiti, J. (2014). Risk analysis using FMEA: Fuzzy similarity value and possibility theory based approach. *Expert Systems with Applications*, *41*(7), 3527-3537.
26. Narasimhan, R., &Talluri, S. (2009). Perspectives on risk management in supply chains.
27. Olson, D. L., & Dash Wu, D. (2010). A review of enterprise risk management in supply chain. *Kybernetes*, *39*(5), 694-706.
28. Porter, M. E., & Kramer, M. R. (2007). *The Link Between Competitive Advantage and Corporate Social Responsibility*. Harvard business review.
29. Pullman, M. E., Maloni, M. J., & Carter, C. R. (2009). Food for thought: social versus environmental sustainability practices and performance outcomes. *Journal of Supply Chain Management*, *45*(4), 38-54.
30. Roberts, S. (2003). Supply chain specific? Understanding the patchy success of ethical sourcing initiatives. *Journal of business ethics*, *44*(2), 159-170.
31. Safari, H., Faraji, Z., &Majidian, S. (2016). Identifying and evaluating enterprise architecture risks using FMEA and fuzzy VIKOR. *Journal of Intelligent Manufacturing*, *27*(2), 475-486.

32. Sodhi, M. S., & Tang, C. S. (2009). *Managing supply chain disruptions via time-based risk management. In Managing supply chain risk and vulnerability*. Springer, London.
33. Song, W., Ming, X., & Liu, H. C. (2017). Identifying critical risk factors of sustainable supply chain management: A rough strength-relation analysis method. *Journal of Cleaner Production*, *143*, 100-115.
34. Spicher, P., von Clausbruch, J. C., & von Waldenfels, P. (2009). Sustainability in Finance–Banking on the Planet. *Sustainable Solutions for Modern Economies*, (4), 12.
35. Tang, C. S. (2006). Perspectives in supply chain risk management. *International Journal of Production Economics*, *103*(2), 451-488.
36. Tang, O., & Musa, S. N. (2011). Identifying risk issues and research advancements in supply chain risk management. *International journal of production economics*, *133*(1), 25-34.
37. Thun, J. H., &Hoenig, D. (2011). An empirical analysis of supply chain risk management in the German automotive industry. *International Journal of Production Economics*, *131*(1), 242-249.
38. Tummala, R., & Schoenherr, T. (2011). Assessing and managing risks using the supply chain risk management process (SCRMP). *Supply Chain Management: An International Journal*, *16*(6), 474-483.
39. Trkman, P., & McCormack, K. (2009). Supply chain risk in turbulent environments—A conceptual model for managing supply chain network risk. *International Journal of Production Economics*, *119*(2), 247-258.
40. Tuncel, G., & Alpan, G. (2010). Risk assessment and management for supply chain networks: A case study. *Computers in industry*, *61*(3), 250-259.
41. Vanany, I., Zailani, S., &Pujawan, N. (2009). Supply chain risk management: literature review and future research. *IGI Global*, 16-33.
42. Vilko, J. P., &Hallikas, J. M. (2012). Risk assessment in multimodal supply chains. *International Journal of Production Economics*, *140*(2), 586-595.
43. Wang, Z., &Sarkis, J. (2013). Investigating the relationship of sustainable supply chain management with corporate financial performance. *International Journal of Productivity and Performance Management*, *62*(8), 871-888.
44. Wang, Y. M., Chin, K. S., Poon, G. K. K., & Yang, J. B. (2009). Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. *Expert systems with applications*, *36*(2), 1195-1207.
45. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, *8*(3), 338-353.
46. Zadeh, L. A. (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy sets and systems*, *1*(1), 3-28.
47. Zhang, Z., & Chu, X. (2011). Risk prioritization in failure mode and effects analysis under uncertainty. *Expert Systems with Applications*, *38*(1), 206-214.

Evaluating Risks of Sustainable Supply Chain by the Failure Mode and Effect Analysis Method in Fuzzy Environment (Case Study: Saba Battery)

Mojtaba Farrokh
Department of Management, Kharazmi University, Tehran, Iran
Email: M.farrokh93@gmail.com
Mehdi Sholeh
PhD Candidate in Industrial Management, University of Tehran, Farabi College, Qom, Iran
Mohsen Zabihi
PhD in Industrial Management, University of Tehran, Farabi College, Qom, Iran

Abstract:
Despite the numerous benefits of globalization and the emergence of advanced technologies, they have put the sustainable supply chain in subject to the social, economic, environmental risks. The aim of this study is to develop a new approach to identify and prioritize the risks involved in sustainable supply chain by using the failure mode and effect analysis (FMEA) technique. In this way, the fuzzy sets theory is applied to calculate the risk priority numbers with regard to the fuzzy importance coefficients of risk factors including probability of occurrence, severity and detectability for each risk factor. However, proposed approaches have a computational inefficiency in ranking the fuzzy priority numbers. The fuzzy weighted geometric mean and linear programming model is used in a different way to determine the fuzzy risk priority numbers and then the fuzzy preference relations are applied to compare these numbers for prioritizing sustainability risk factors. Risk factors of the sustainable supply chain in the battery industry are identified and then prioritized by the cross-functional team by using the proposed method. The results show that the approach is capable to provide similar results than other ones with a high computational performance.

Keywords: Fuzzy risk priority numbers, Fuzzy preference relations, Risk Factors, Sustainable supply chain.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی