Archive of SID

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۳۹۴)
دوره‌ی ۱ - ۳۱، شماره‌ی ۲/۱، ص. ۲۵-۳۵

Original Article

برنامه‌ریزی شبکه‌ی تأمین با در نظرگرفتن ریسک

معصومه مهرعلی دهنوی (کارشناس ارشد)
عبدالله آقایی* (استاد)
مصطفی ستاك (دانشیار)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

در سال‌های اخیر به‌دلیل رقابت جهانی، افزایش پیچیدگی زنجیره‌ی تأمین، تلاش برای کسب مزیت رقابتی و استفاده از تأمین‌کنندگان جهانی، موضوع مدیریت ریسک زنجیره‌ی تأمین توجهات بسیاری را به خود جلب کرده است. همچنین به‌دلیل پیچیده شدن زنجیره‌های تأمین، موضوع شبکه‌ی تأمین شکل گرفته است. در این تحقیق به بررسی مدیریت ریسک شبکه‌ی تأمین پرداخته شده و مدلی برای انتخاب تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و مراکز توزیع از میان گزینه‌های بالقوه و همچنین تعیین میزان جریان مواد خریداری، تولید و توزیع شده میان آنها، برای کمینه کردن ریسک‌هایی نظیر ریسک عملیاتی تأمین‌کنندگان، ریسک عملیاتی و مالی تولیدکنندگان و ریسک وقوع حوادث طبیعی برای مراکز توزیع ارائه شده است. برای کمینه کردن این ریسک‌ها از ابزارهای ارزش در معرض ریسک، نظریه‌ی مقدار فرین، و جریان نقدی در معرض ریسک استفاده شده و برای بیان عدم قطعیت موجود در اجزاء زنجیره و پارامترهای مسئله، نظریه‌ی اعداد فازی مورد استفاده قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: مدیریت ریسک شبکه‌ی تأمین، ارزش در معرض ریسک، نظریه‌ی مقدار فرین تعمیم‌یافته، جریان نقد در معرض ریسک، نظریه‌ی اعداد فازی.

m_mehrali@sina.kntu.ac.ir
aaghaie@kntu.ac.ir
setak@kntu.ac.ir

۱. مقدمه

مدیریت زنجیره‌ی تأمین مجموعه‌یی از رویکردهای مورد استفاده برای یک‌پارچه‌سازی مؤثر تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و فروشگاه‌ها، به‌منظور تولید میزان مناسب کالا، توزیع مقدار مناسب آن در زمان و مکان مناسب، و نیز کمینه‌سازی هزینه‌هاست.[۱] امروزه رقابت شدید در بازارهای جهانی، ظهور محصولاتی با چرخه‌ی عمر کوتاه، و نیز بالا رفتن انتظارات مشتریان، سازمان‌های تجاری را مجبور به سرمایه‌گذاری روی زنجیره‌ی تأمین خود و مدیریت آن کرده است. علاوه بر این، بروز عواملی نظیر مسائل سیاسی، نوسانات تقاضا، تغییرات تکنولوژیکی، ناپایداری‌های مالی و حوادث طبیعی موجب افزایش عدم قطعیت و بروز ریسک در زنجیره‌ی تأمین شده و به شکل‌گیری مدیریت ریسک زنجیره‌ی تأمین انجامیده است. برای واژه‌ی ریسک تعاریف مختلفی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به «احتمال بروز خسارت و ضرر»، «امکان ایجاد ضرر، عدم قطعیت»، «احتمال متفاوت بودن نتیجه از خروجی مورد نظر» اشاره کرد.[۲] همچنین انجمن سلطنتی[۱] انگلستان ریسک را به‌عنوان «احتمال وقوع یک پیشامد ناسازگار طی یک دوره‌ی زمانی معین» تعریف کرده است.[۳]

برای مقابله با ریسک‌ها، کاهش احتمال وقوع، یا کم‌کردن پیامدهای آنها «مدیریت ریسک» ضروری است. مدیریت ریسک یک رویکرد علمی برای مقابله با ریسک‌هایی است که افراد یا واحدهای تجاری با آن مواجه می‌شوند. فرایند مدیریت ریسک پنج مرحله‌ی «تعیین اهداف و شناسایی ریسک‌ها»، «ارزیابی ریسک‌ها»، «بررسی و انتخاب بهترین روش برخورد با ریسک»، و «پیاده‌سازی تصمیمات»، و در نهایت «ارزیابی و بازنگری» را شامل می‌شود.[۳]

به‌دلیل رشد سریع تکنولوژی و پیچیده شدن ارتباطات، زنجیره‌ی تأمین به آنچه امروزه به‌عنوان شبکه‌ی تأمین شناخته می‌شود، گسترش یافته است. متأسفانه محققین به موضوع مدیریت ریسک شبکه‌ی تأمین توجه اندکی کرده‌اند و به‌همین دلیل در این تحقیق به بررسی ادبیات موضوع مدیریت ریسک زنجیره‌ی تأمین پرداخته شده است.

از دیدگاه تَنگ مدیریت ریسک زنجیره‌ی تأمین، مدیریت ریسک‌های موجود در زنجیره‌ی تأمین از طریق افزایش هماهنگی و همکاری میان اجزاء زنجیره‌ی تأمین است به‌گونه‌یی که سوددهی و پیوستگی زنجیره‌ی تأمین را تضمین کند.[۴] در حقیقت می‌توان گفت مدیریت ریسک زنجیره‌ی تأمین فصل مشترک مدیریت زنجیره‌ی تأمین و مدیریت ریسک است. مدیریت زنجیره‌ی تأمین همواره بر مفهوم ریسک تأکید داشته، اما در سال‌های اخیر به‌دلیل رقابت جهانی افزایش پیچیدگی زنجیره‌ی تأمین، تلاش برای کسب مزیت رقابتی و استفاده از تأمین‌کنندگان جهانی به موضوع مدیریت ریسک زنجیره‌ی تأمین توجه بسیار بیشتری شده است و افراد زیادی به بررسی این موضوع و پیاده‌سازی گام‌های مختلف مدیریت ریسک در زنجیره‌ی تأمین پرداخته‌اند. به‌عنوان مثال، ضمن شناسایی و ارزیابی ریسک‌های

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۲/۶/۲۳، اصلاحیه ۱۳۹۳/۲/۱۴، پذیرش ۱۳۹۳/۳/۳۱.

www.SID.ir

Archive of SID

زنجیره‌ی تأمین با استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل حالت‌های خطا و آثار و وضع بحرانی آنها[۲]، با استفاده از شبکه‌های پتری زمانی[۳] مدلی برای تحلیل زنجیره‌ی تأمین با درنظرگرفتن ریسک ارائه شده است.[۵] همچنین سه مدل برنامه‌ریزی محدود تصادفی[۴]، تحلیل پوششی داده‌ها[۵] و برنامه‌ریزی چندهدفه برای ارزیابی ریسک زنجیره‌ی تأمین ارائه شده و نتایج حاصل از آنها بررسی و مقایسه شده است.[۶] در این مدل‌های برنامه‌ریزی چندهدفه برای درنظرگرفتن ریسک، عواملی مانند تأخیر در تحویل، کیفیت و تقاضا به‌صورت پارامترهای غیر قطعی و دارای توزیع احتمال در نظرگرفته شده است و روشی برای کمی کردن ریسک‌ها ارائه نشده است.

برخی از محققین نیز الگوریتمی برای مواجهه با موضوع شبکه‌های تأمین جهانی چندمرحله‌یی با هدف بیشینه‌سازی سود و کمینه‌کردن ریسک پیشنهاد داده و در آن ریسک‌هایی نظیر ریسک تأمین، تقاضا، نرخ مبادله‌ی ارز و شکست[۶] را مورد بررسی قرار داده‌اند.[۷] همچنین چارچوبی برای طراحی یک سیستم پشتیبانی تصمیم چندعاملی[۷]، برای مدیریت ریسک‌های موجود در زنجیره‌های تأمین مربوط به تولید ارائه شده است.[۸] در بسیاری از مقالات نیز تنها رویکردهای مفهومی و استراتژی‌هایی برای کاهش ریسک ارائه شده است. به‌عنوان مثال در یکی از این مقالات رویکردی مفهومی برای اولویت‌بندی ریسک‌های مرتبط به تأمین ارائه شده است.[۹] در مقاله‌یی دیگر نیز انواع ریسک‌های موجود در زنجیره‌ی تأمین خرده‌فروشی بررسی شده است. بدین‌منظور ریسک‌ها به دو دسته‌ی عام ریسک‌های ذاتی با فراوانی بالا، و ریسک‌های شکست با فراوانی کم تقسیم، و استراتژی‌هایی عمومی برای کاهش این ریسک‌ها ارائه شده است.[۱۰] تنها در تعداد محدودی از مقالات روش‌هایی برای کمی‌کردن ریسک‌های موجود در زنجیره‌ی تأمین ــ نظیر استفاده از نظریه‌ی گراف روشی برای کمی‌کردن و کاهش آسیب‌پذیری[۸] زنجیره‌ی تأمین ــ ارائه شده است.[۱۱] دیگر محققین نیز مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده را با درنظرگرفتن ریسک، به‌صورت یک مسئله‌ی بهینه‌سازی چندمعیاره مدل‌سازی و حل کرده‌اند. آنها از ارزش در معرض ریسک و نظریه‌ی مقدار فرین برای کمی‌کردن ریسک‌های مربوط به شکست زنجیره‌ی تأمین و از تابع زیان تاگوچی برای کمی‌کردن ریسک‌هایی نظیر ریسک کیفیت استفاده کرده‌اند.[۱۲] طراحی و برنامه‌ریزی زنجیره‌ی تأمین نیز از دیگر موضوعات مطرح در حوزه‌ی مدیریت زنجیره‌ی تأمین است و می‌توان مدیریت ریسک را در حین طراحی زنجیره‌ی تأمین نیز پیاده‌سازی و اجرا کرد. تنها تعداد محدودی از محققین به بررسی موضوع مدیریت ریسک در هنگام طراحی و برنامه‌ریزی زنجیره‌ی تأمین پرداخته‌اند. نمونه‌ی این اقدام ارائه‌ی یک رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی چندهدفه[۹] برای طراحی زنجیره‌ی تأمین تحت عدم قطعیت[۱۳] است که در آن فقط کمینه‌کردن ریسک مالی ــ بدون توجه به سایر ریسک‌های موجود در زنجیره‌ی تأمین ــ مورد بررسی قرار گرفته است. خلاصه‌یی از اهم مقالات منتشره در زمینه‌ی مدیریت ریسک زنجیره‌ی تأمین در جدول ۱ ارائه شده است. به‌طور کلی، با بررسی مقالات منتشره در حوزه‌ی مدیریت ریسک تأمین می‌توان دریافت که بیشتر مقالات به ارائه‌ی مدل‌های مفهومی و استراتژی‌های کاهش ریسک پرداخته‌اند، یا ریسک تأمین را تنها به‌عنوان معیاری در انتخاب تأمین‌کنندگان (در تحلیل سلسله مراتبی) درنظر گرفته‌اند. در این میان تعداد اندکی از مقالات به بررسی انواع ریسک‌های تأمین و ارائه‌ی مدل‌های ریاضی برای کمی کردن و کاهش ریسک‌های تأمین اختصاص داشته، که آنها نیز تمامی ریسک‌های تأمین را به‌صورت جامع پوشش نداده‌اند. بر این اساس می‌توان گفت مدیریت ریسک شبکه‌ی تأمین از طریق درنظرگرفتن ریسک در فرایند طراحی شبکه، یکی از موضوعات موجود در زمینه‌ی مدیریت ریسک شبکه‌ی تأمین است که کم‌تر به آن توجه شده است.

این نوشتار مدیریت ریسک شبکه‌ی تأمین از طریق ارائه‌ی مدلی برای انتخاب تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان و تعیین جریان مواد میان آن‌ها، با کمینه‌کردن ریسک‌هایی نظیر ریسک عملیاتی تأمین‌کنندگان، ریسک عملیاتی و مالی (عدم ثبات اقتصادی) تولیدکنندگان و ریسک حوادث طبیعی برای مراکز توزیع را هدف گرفته است و بدین‌منظور از روش‌های ارزش در معرض ریسک، نظریه‌ی مقدار فرین و جریان نقد در معرض ریسک برای کمی کردن ریسک‌ها بهره برده است.

با توجه به این که در فرایند برنامه‌ریزی شبکه‌ی تأمین، عدم قطعیت یکی از عوامل اساسی تأثیرگذار بر میزان اثربخشی پیکربندی و هماهنگی شبکه‌های تأمین است، در این تحقیق برای بیان عدم قطعیت موجود در اجزاء شبکه و پارامترهای مسئله از اعداد فازی استفاده شده است.

در بخش ۲ این نوشتار ابزارهای کمی‌کردن ریسک ــ نظیر ارزش در معرض ریسک، نظریه‌ی مقدار فرین و جریان نقدی در معرض ریسک معرفی، و روش محاسبه‌ی ریسک با استفاده از این ابزارها ارائه شده است. مدل پیشنهادی مدیریت ریسک شبکه‌ی تأمین در بخش ۳ تشریح، و با ارائه‌ی مثالی در بخش ۴ کارایی آن بررسی شده است. در انتها نیز نتایج حاصل از این تحقیق بیان شده است.

۲. ارائه‌ی روشی برای کمی‌کردن ریسک

در این تحقیق برای کمی‌کردن ریسک عملیاتی تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان و همچنین ریسک وقوع حوادث طبیعی در مراکز توزیع، از روش ارزش در معرض ریسک و نظریه‌ی مقدار فرین استفاده شده است. همچنین استفاده از جریان نقدی در معرض ریسک برای نشان‌دادن ریسک کمبود نقدینگی و عدم‌ثبات مالی تولیدکننده به‌عنوان «معیاری برای ریسک مالی تولیدکننده» پیشنهاد می‌شود.

ریسک از دو جزء «شدت اثر» و «احتمال وقوع» تشکیل شده و چنین محاسبه می‌شود:[۱۴]

ریسک = احتمال وقوع یک پیشامد × اثر وقوع (میزان ضرر)

در این‌جا برای محاسبه‌ی میزان اثر، و ضرر حاصل از وقوع پیشامد از روش ارزش در معرض ریسک و نظریه‌ی فرین استفاده می‌شود.

۱.۲. محاسبه‌ی میزان ضرر با استفاده از ارزش در معرض ریسک (VaR) و نظریه‌ی مقدار فرین (EVT)

ارزش در معرض ریسک در اوایل دهه‌ی ۹۰ میلادی به‌عنوان ابزار مدیریت ریسک مالی و معیاری برای اندازه‌گیری ریسک بازار معرفی شد. ارزش درمعرض ریسک به‌عنوان معیاری برای تعیین بیشینه خسارتی که یک سازمان، در یک سطح اطمینان معین و در طول دوره‌ی زمانی تعیین شده متحمل می‌شود، کاربرد دارد. به‌عبارت دیگر مدل‌های ارزش در معرض ریسک به این پرسش پاسخ می‌دهند که «بیشینه خسارتی که در طول یک دوره‌ی معین به سازمان تحمیل می‌شود چه میزان است؟» و با احتمال خیلی کم (سطح اطمینان – ۱) خسارت واقعی از این میزان بیشتر خواهد شد. مقدار سطح اطمینان نشان‌گر میزان بیزاری از ریسک است، به‌طوری که هرچه این میزان بیشتر باشد سطح اطمینان درنظرگرفته شده نیز بیشتر خواهد بود.[۱۵]

روش‌های زیادی برای تخمین ارزش در معرض ریسک (VaR) وجود دارد؛

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. اهم مقالات بررسی شده در زمینه‌ی مدیریت ریسک زنجیره‌ی تأمین طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳.

	نویسنده	سال	نوع مطالعه (رویکرد)	نوع ریسک	روش	بخش مورد بررسی
۱	پونیا مورسی	۲۰۱۳	مفهومی	ریسک‌های مرتبط با تأمین	—	اولویت‌بندی
۲	لاواستر و همکاران	۲۰۱۲	مطالعه‌ی میدانی	فرایند، کنترل، تأمین، تقاضا، محیط	—	مدیریت ریسک
۳	مارکمن و همکاران	۲۰۱۲	مدل‌سازی	ریسک‌هایی با منشاء انسانی	دلفی	ارزیابی ریسک
۴	تنگ و موسی	۲۰۱۱	مرور ادبیات	جریان مواد، نقدینگی و اطلاعات	—	—
۵	جوناکیز و لوئیس	۲۰۱۰	مفهومی	—	سیستم پشتیبانی تصمیم چندعاملی	مدیریت ریسک
۶	واگنر و نشاط	۲۰۱۰	مدل‌سازی	تأمین و تقاضا	نظریه‌ی گراف‌ها	ارزیابی ریسک
۷	تانسل و آلپن	۲۰۱۰	شبیه‌سازی	ریسک‌های مرتبط با تأمین‌کننده، لجستیک، تولیدکننده و مشتری	شبکه‌های پتری زمانی و تکنیک FMEA	شناسایی، ارزیابی و مدیریت ریسک
۸	سیمیو و همکاران	۲۰۱۰	مدل‌سازی	ریسک مالی	برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح خطی	مدیریت ریسک
۹	راواندرن و همکاران	۲۰۱۰	مدل‌سازی	ریسک تأمین و شکست	تکنیک‌های بهینه‌سازی چند معیاره، نظریه‌ی ارزش بی نهایت، تابع زیان‌تاگوچی و AHP	مدیریت ریسک
۱۰	الیس و همکاران	۲۰۱۰	مطالعه میدانی	تأمین	مدل ساختاری تفسیری	ارزیابی ریسک
۱۱	جیا و رادرفورد	۲۰۱۰	مفهومی	ریسک رابطه‌یی*		مدیریت ریسک
۱۲	اولسون و وو	۲۰۱۰	مرور ادبیات	—	—	—
۱۳	سان و هونیگ	۲۰۰۹	مطالعه میدانی	—	ماتریس احتمال اثر	شناسایی، ارزیابی و مدیریت
۱۴	تورناو و همکاران	۲۰۰۹	مطالعه‌ی موردی	تأمین	ارزیابی روند تأمین و تقاضا	شناسایی و ارزیابی
۱۵	نیجر و همکاران	۲۰۰۹	مدل‌سازی	—	مهندسی فرایند متمرکز بر ارزش **	شناسایی ریسک
۱۶	اوک و گاپالاکریشنن	۲۰۰۹	مطالعه‌ی موردی	تأمین، تقاضا و ریسک‌های فاجعه‌آمیز	ارائه‌ی استراتژی‌های عمومی برای کاهش ریسک	شناسایی ریسک
۱۷	یوئه و همکاران	۲۰۰۹	مدل‌سازی	ریسک شکست	روشی برای تصمیم درمورد منبع‌یابی تکی یا دوتایی	مدیریت ریسک
۱۸	ترکمن و مَک کورمَک	۲۰۰۹	مفهومی	تأمین	نظریه‌ی اقتضایی***	شناسایی ریسک
۱۹	برون اسکیدل و سیرش	۲۰۰۹	مفهومی	ریسک شکست	بررسی تأثیر در مدیریت ریسک شکست	—
۲۰	ماتوک و همکاران	۲۰۰۹	مفهومی	ریسک تأمین	تجزیه و تحلیل عوامل	مدیریت ریسک
۲۱	یو و همکاران	۲۰۰۹	شبیه‌سازی	ریسک مالی	برنامه‌ریزی تصادفی و مدل چندهدفه برای موازنه‌ی هزینه و ریسک	
۲۲	بلوس و دیگران	۲۰۰۹	مطالعه‌ی موردی	—	—	شناسایی ریسک
۲۳	ونانی و همکاران	۲۰۰۹	مرور ادبیات	—	—	—
۲۴	پیدرو و همکاران	۲۰۰۹	مرور ادبیات	—	—	—
۲۵	ایزارون و همکاران	۲۰۰۹	مدل‌سازی	ریسک مالی	رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی چندهدفه	مدیریت ریسک
۲۶	شونهر و همکاران	۲۰۰۸	مطالعه‌ی موردی	تأمین، تقاضا، لجستیک، حوادث طبیعی و غیره	فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی	ارزیابی ریسک
۲۷	تنگ و تاملین	۲۰۰۸	مدل‌سازی	تأمین، تقاضا و فرایند	انعطاف‌پذیری	مدیریت ریسک
۲۸	وو و اولسون	۲۰۰۸	مدل‌سازی	تأمین، تقاضا	برنامه‌ریزی محدودیت شانس، تحلیل پوششی داده‌ها و برنامه‌ریزی چندهدفه	مدیریت ریسک
۲۹	کال و کلاس	۲۰۰۸	شبیه‌سازی	تأمین	بررسی اثر افزایش موجودی در میزان شکست و ریسک تأمین	ارزیابی ریسک
۳۰	لواری	۲۰۰۸	مطالعه‌ی موردی	تأمین، ریسک حوادث طبیعی و انسانی و ریسک حمل و نقل	فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، روشی برای انتخاب تامین‌کنندگان با درنظرگرفتن ریسک	مدیریت ریسک
۳۱	میکلی و همکاران	۲۰۰۸	مطالعه میدانی	ریسک تأمین	مدیریت ریسک تأمین هنگام انتخاب تأمین‌کننده	مدیریت ریسک
۳۲	کریگتد و همکاران	۲۰۰۷	مفهومی	ریسک شکست	—	مدیریت ریسک

* relational risk ** value-focused process engineering *** contingency theory

www.SID.ir

Archive of SID

ادامه‌ی جدول ۱.

	نویسنده	سال	نوع مطالعه (رویکرد)	نوع ریسک	روش	بخش مورد بررسی
۳۳	ریچی و بردلی	۲۰۰۷	مفهومی	—	یکپارچه کردن ابعاد ریسک و عملکرد	مدیریت ریسک
۳۴	گو و همکاران	۲۰۰۷	مدل‌سازی	تأمین، تقاضا، نرخ مبادله‌ی ارز و شکست	مدل‌های تصادفی	مدیریت ریسک
۳۵	فیسل وهمکاران	۲۰۰۷	مفهومی	ریسک‌های مربوط به اطلاعات	نظریه‌ی گراف و مدل ساختاری تفسیری	مدیریت ریسک
۳۶	خان و بورنس	۲۰۰۷	مرور ادبیات	—	—	—
۳۷	تنگ	۲۰۰۶	مرور ادبیات	—	—	—
۳۸	وو و همکاران	۲۰۰۶	مدل‌سازی	تأمین	تکنیک فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی	شناسایی و ارزیابی و مدیریت ریسک
۳۹	فیسل و همکاران	۲۰۰۶	مفهومی	—	مدل ساختاری تفسیری	مدیریت ریسک
۴۰	واگنر و بود	۲۰۰۶	مطالعه میدانی	تأمین، تقاضا و ریسک‌های فاجعه‌آمیز	بررسی ارتباط آسیب‌پذیری و ریسک	مدیریت ریسک
۴۱	کلاینورفر و سعد		مفهومی	حوادث طبیعی، اعتصاب، شکست‌های اقتصادی و تروریسم	—	ارزیابی و مدیریت ریسک
۴۲	جوتنر	۲۰۰۵	مفهومی	تأمین، تقاضا و محیطی	—	مدیریت ریسک
۴۳	کُوی ناتو	۲۰۰۵	مفهومی	—	—	شناسایی ریسک
۴۴	بلاکخورست	۲۰۰۵	مطالعه‌ی موردی	شکست	—	مدیریت ریسک
۴۵	سایدیزین و همکاران	۲۰۰۵	مطالعه‌ی موردی	تأمین	برنامه‌ی اقتضایی تجاری	شناسایی ریسک
۴۶	سایدیزین و اسمیت	۲۰۰۵	مطالعه‌ی موردی	تأمین	—	مدیریت ریسک
۴۷	نرمن و جانسون	۲۰۰۴	مطالعه‌ی موردی	—	—	مدیریت ریسک
۴۸	سینها و همکاران	۲۰۰۴	مطالعه‌ی موردی	تأمین	IDEFO	مدیریت ریسک
۴۹	فینچ	۲۰۰۴	مطالعه‌ی موردی	—	—	مدیریت ریسک
۵۰	چوپرا و سودهی	۲۰۰۴	مفهومی	شکست‌ها، تأخیرها، سیستم‌ها، پیش‌بینی، دارایی‌های ذهنی، تهیه، دریافت، موجودی و ظرفیت	—	شناسایی، دسته‌بندی و مدیریت ریسک
۵۱	سایدیزین و الرام	۲۰۰۳	مطالعه میدانی	تأمین	نظریه‌ی عاملیت****	مدیریت ریسک
۵۲	سایدیزین	۲۰۰۳	مطالعه‌ی موردی	تأمین	—	شناسایی و دسته‌بندی
۵۳	سایدیزین	۲۰۰۳	مفهومی	تأمین	—	شناسایی ریسک
۵۴	هارلاندا و همکاران	۲۰۰۳	مفهومی	تأمین	—	شناسایی، ارزیابی و مدیریت ریسک
۵۵	ریچی و بردلی	۲۰۰۰	مفهومی	—	—	مدیریت ریسک
۵۶	اپلکوئیست	۲۰۰۰	مدل‌سازی	مالی	برنامه‌ریزی تصادفی	مدیریت ریسک

**** agency theory

یکی از این روش‌ها نظریه‌ی مقدار فرین است که در دهه‌ی ۹۰ میلادی توسط لوین و همکاران[۱۰] معرفی شد. با این فرض که مدیران ریسک به تمرکز بر مقادیر کرانیِ توزیع خسارات آتی و به‌طورکلی خسارات سنگین تمایل دارند، بیشترین نگرانی باید در زمینه‌ی تخمین دقیق نوع دنباله‌ی توزیع خسارات باشد. از این رو، نظریه‌ی مقدار فرین می‌تواند روشی مناسب و ارزشمند برای برآورد VaR به‌شمار آید. لازم به ذکر است احتمال وقوع این حوادث (رخدادهای فرین) پایین است ولی اثرات بزرگی به همراه دارد.[۱۵و۱۶] فرم کلی توزیع تعمیم‌یافته‌ی مقدار فرین با رابطه‌ی ۱ نمایش داده می‌شود:

$$F_{\lambda,\delta,\kappa}(x)= \begin{cases} \exp\left\{-\left[1-\kappa\left(\frac{x-\lambda}{\delta}\right)\right]^{1/\kappa}\right\}, & 1-\kappa\left(\frac{x-\lambda}{\delta}\right)\geq 0, \kappa\neq 0 \\ \exp\left\{-\exp\left(\frac{x-\lambda}{\delta}\right)\right\}, & -\infty<x<\infty, \kappa=0 \end{cases} \quad (1)$$

که در آن $F_{\lambda,\delta,\kappa}(x)$ تابع توزیع تجمعی متغیر بیشینه (مقادیر فرین) است، وقتی

www.SID.ir

Archive of SID

که متغیرهای تصادفی مستقل از هم و دارای توزیع یکسان باشند. این توزیع سه پارامتر دارد. λ پارامتر مربوط به موقعیت توزیع، و δ پارامتر معیار توزیع است؛ κ نیز شاخص دنباله است و بر شکل یا تراکم دنباله‌ی توزیع دلالت دارد.

توزیع مقدار فرین تعمیم‌یافته سه حالت خاص دارد: اگر $\kappa > 0$ آنگاه توزیع مقدار فرین تعمیم‌یافته به توزیع فرچت[11]، اگر $\kappa = 0$ آنگاه توزیع مقدار فرین تعمیم‌یافته به توزیع گامبل[12]، و اگر $\kappa < 0$ توزیع مقدار فرین تعمیم‌یافته به توزیع وایبال[13] بدل می‌شود.

روش‌های زیادی برای تخمین و برآورد پارامترهای توزیع مقدار فرین تعمیم‌یافته وجود دارد، نظیر: بیشترین درست‌نمایی[14]، روش رگرسیون، روش گشتاور، روش گشتاور احتمال وزنی[15]. با توجه به این‌که برای نمونه‌های با اندازه‌ی کوچک روش گشتاور احتمال وزنی کم‌ترین میزان اریب[16] را دارد، در این مقاله از روش گشتاور احتمال وزنی برای برآورد پارامترهای توزیع مقدار فرین تعمیم‌یافته استفاده شده است.[17] فرض کنید نمونه‌یی تصادفی با اندازه‌ی n از توزیع $F_{\lambda,\delta,\kappa}(x)$ وجود دارد، تخمین گشتاورها براساس نمونه‌های مرتب شده به‌صورت صعودی $x_1 \le x_2 \le \ldots \le x_n$ بسیار راحت‌تر خواهد بود. آماره‌ی $\hat{\beta}_r$ یک برآوردکننده‌ی ناریب برای گشتاور rام است.

$$\hat{\beta}_r[p_{i,n}] = n^{-1}\sum_{i=1}^{n} p_{i,n}^{r}.x_i \qquad (2)$$

به‌طوری‌که $p_{i,n} = (i-a)/n,\ 0 < a < 1$. هدف از به‌کاربردن a ایجاد نقاطی است که به‌طور همگن در بازه‌ی $[0,1]$ گسترده شده‌اند؛ در نتیجه برآوردکننده‌های پارامترهای توزیع مقدار فرین تعمیم‌یافته عبارت خواهد بود از:[18]

$$c = \frac{2\beta_1 - \beta_0}{3\beta_2 - \beta_0} - \frac{\log 2}{\log 3} \qquad (3)$$

$$\hat{\kappa} = 7.8859c + 2.9554c^2 \qquad (4)$$

$$\hat{\delta} = \frac{(2\beta_1 - \beta_0)\hat{\kappa}}{\Gamma(1+\hat{\kappa})(1-2^{\hat{\kappa}})} \qquad (5)$$

$$\hat{\lambda} = \beta_0 + \frac{\hat{\kappa}}{\hat{\delta}}(\Gamma(1+\hat{\kappa}) - 1) \qquad (6)$$

همچنین لازم است پس از برآورد پارامترها آزمون برازندگی روی داده‌ها صورت گیرد و تابعیت داده‌ها از توزیع مقدار فرین تعمیم‌یافته بررسی شود. برای این کار پیشنهاد می‌شود از آزمون کولموگوروف ـ اسمیرنوف[17] استفاده شود.[16]

۲.۲. محاسبه‌ی احتمال وقوع پیشامد

با فرض پیروی وقوع پیشامدها از تابع توزیع پواسون، و با دردست داشتن داده‌ها به‌راحتی می‌توان پارامتر مربوط به این توزیع را برآورد کرد. تابع توزیع احتمال پواسون عبارت است از:

$$P_k = \frac{e^{-\lambda}.\lambda^k}{k!} \qquad k = 0, 1, 2, \ldots \qquad (7)$$

برآورد λ به روش بیشینه درست‌نمایی به‌صورت $\hat{\lambda} = \bar{x}$ است که در آن $\bar{x}$ میانگین نمونه است.

۳.۲. محاسبه‌ی ریسک

پس از تعیین تابع میزان ضرر از طریق استفاده از ارزش در معرض ریسک و نظریه‌ی مقدار فرین و تعیین تابع احتمال وقوع پیشامد، لازم است با ترکیب آن دو نسبت به تعیین تابع توزیع ریسک اقدام کنیم. روش‌های محدودی برای این کار وجود دارد، ساده‌ترین روش استفاده از شبیه‌سازی و تحلیل سناریوی ساختاریافته است که مراحل اجرای آن در ادامه می‌آید.

۱. محاسبه‌ی پارامتر λ براساس داده‌های در دسترس و تولید اعداد تصادفی از توزیع پواسون با پارامتر λ، که تعداد دفعات وقوع پیشامد مورد نظر در دوره‌ی معین (فراوانی پیشامد) را نشان می‌دهد.

۲. تولید اعداد تصادفی بین صفر و ۱، به تعداد لازم (مساوی با فراوانی پیشامد که درگام اول تعیین شده است) و استفاده از آن به‌عنوان احتمال وقوع پیشامد (p) در رابطه‌ی ۸.

۳. استفاده از تابع توزیع مقدار فرین تعمیم‌یافته و محاسبه‌ی میزان ضرر (x) طبق رابطه‌ی ۸:

$$x = \frac{\delta(1-(-\ln p)^{\kappa})}{\kappa} + \lambda \qquad (8)$$

۴. جمع اعداد به‌صورت ستونی و محاسبه‌ی میزان ریسک در یک دوره.

باید مراحل فوق به دفعات زیاد (برای مثال ۱۰ هزار بار) اجرا شود تا جدول توزیع ریسک تعیین شود.

۴.۲. محاسبه‌ی ریسک مالی با استفاده از جریان نقدی در معرض ریسک (CFaR)

نقدینگی به‌معنی در دسترس‌بودن وجه نقد است؛ بنابراین می‌توان ریسک نقدینگی را ریسک زیان ناشی از فقدان وجه نقد و به‌عبارتی ریسک ناشی از عدم توانایی در تأمین وجه به‌میزان قابل قبول (از نظر اقتصادی) تعریف کرد.[19] براساس نظر خبرگان، ریسک کمبود نقدینگی یکی از مهم‌ترین دلایل وجود ریسک مالی سازمانهاست. یکی از روش‌های موجود برای کمی‌کردن ریسک نقدینگی همانا «جریان نقدی در معرض ریسک» است که با درنظرگرفتن طیف وسیعی از عواملی که سازمان را با ریسک مواجه می‌سازند تأثیر آنها را بر درآمد سازمان اندازه می‌گیرد. در واقع جریان نقدی درمعرض ریسک به این پرسش پاسخ می‌دهد که «احتمال آن که جریان نقدی واقعی کم‌تر از میزان برنامه‌ریزی شده باشد، چقدر است؟»

جریان نقدی تحت تأثیر عوامل زیادی است. طبق مدل تحلیل جریان نقدی در معرض ریسک که توسط سازمان تاورز پرین[18] ارائه شده، جریان نقدی تحت تأثیر مواردی چون تغییرات نرخ بهره، نرخ ارز، قیمت اقلام و هزینه‌ها، و عوامل اقتصاد کلان نظیر تورم است. برای محاسبه‌ی جریان نقدی در معرض ریسک ابتدا باید اطلاعات مربوط به عوامل یادشده و مقدار آن‌ها برای دوره‌های مشخص در اختیار باشد و میزان جریان نقدی سازمان در دوره‌های مربوطه نیز جمع آوری شود و با استفاده از روش رگرسیون ضریب تأثیر هریک از عوامل بر جریان نقدی سازمان مشخص شود و تابع جریان نقدی به دست آید. همچنین با توجه به مقادیر عوامل تأثیرگذار بر جریان نقدی، تابع توزیع آنها را به دست آورده و با تولید اعداد تصادفی از توابع مورد نظر و با درنظرگرفتن ضرایب به دست آمده از رگرسیون، میزان جریان نقدی و ارزش درمعرض ریسک آن محاسبه می‌شود.

۳. مدل مدیریت ریسک شبکه‌ی تأمین

در مسئله‌ی پیش رو یک شبکه‌ی تأمین تک‌محصولی با چندین تأمین‌کننده، چندین تولیدکننده، چندین مرکز توزیع و نیز چندین مشتری، با پارامترهای غیر قطعی (تقاضا،

www.SID.ir

Archive of SID

هزینه‌ها و ظرفیت) مورد بررسی قرارگرفته است. هدف از طراحی این شبکه تعیین تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و مراکز توزیع است طوری که محدودیت‌های ظرفیت و نیازمندی‌های تقاضا را پوشش داده و میزان ریسک شبکه و مجموع هزینه‌ها را کمینه کند. این مسئله، یک مسئله‌ی تک‌محصولی ـ چندمرحله‌یی است که به‌صورت یک مدل برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح خطی[۱۹] چندهدفه فرمول‌بندی شده است. توابع هدف در این مسئله شامل کمینه کردن هزینه‌ی کل شبکه‌ی تأمین (شامل هزینه‌های استفاده از هریک از اجزاء و هزینه‌های مربوط به خرید اقلام و حمل‌ونقل) و کمینه‌کردن ریسک‌های موجود در سطوح مختلف این شبکه است. ریسک عملیاتی تأمین‌کنندگان (میزان خسارت ناشی از عدم عملکرد صحیح تأمین‌کنندگان و کوتاهی آنها در انجام تعهدات خود و تحمیل ضررهایی به کارخانجات و شبکه به‌دلیل دیرکرد در تحویل، مشکلات کیفیتی، ورشکستگی تأمین‌کننده)، ریسک عملیاتی تولیدکنندگان (میزان خسارات ناشی از عملکرد نامناسب تولیدکننده به‌دلیل خرابی دستگاه‌ها، اشتباهات انسانی و عملکرد نامناسب اپراتورها و نیز وقوع حوادث طبیعی برای تولیدکنندگان)، ریسک مالی تولیدکنندگان (میزان ضرر ناشی از ورشکستگی تولیدکنندگان و ریسک توزیع‌کنندگان و ایجاد خسارت ناشی از وقوع حوادث طبیعی و انسانی در مراکز توزیع و یا وقوع حوادث و تصادفات در هنگام حمل و نقل محصولات) از جمله ریسک‌های موجود در سطوح مختلف شبکه‌ی تأمین است.

با توجه به آنچه در بخش ۲ گفته شد، میزان ریسک عملیاتی تأمین‌کنندگان را می‌توان با استفاده از اطلاعات مربوط به تعداد دفعاتی که تأمین‌کنندگان دچار کوتاهی در ایفای تعهدات خود شده و میزان خسارت وارده به تولیدکنندگان مختلف در دوره‌های مشخص محاسبه کرد. همچنین با دردست داشتن اطلاعات مربوط به تعداد دفعاتی که تولیدکنندگان نتوانسته‌اند محصولات با کیفیت و به مقدار مورد نیاز تولید کنند و با توجه به داده‌های مرتبط با جریان نقدی و عوامل مؤثر بر آن برای تولیدکنندگان مختلف و برای دوره‌های مشخص، می‌توان ریسک عملیاتی و ریسک مالی تولیدکنندگان را محاسبه کرد. به‌همین ترتیب، با توجه به تعداد دفعاتی که مراکز توزیع به‌دلیل عوامل ذکر شده در بالا نتوانسته‌اند محصولات را در زمان مناسب و به میزان مناسب تحویل مشتری دهند و با توجه به میزان خسارت ناشی از آن، ریسک توزیع‌کنندگان نیز قابل محاسبه است. فرض‌های این مسئله عبارت است از:

۱. تعداد مشتریان ثابت و مشخص، و میزان تقاضای آنها غیرقطعی است.
۲. تعداد تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و مراکز توزیع بالقوه مشخص، و ظرفیت آنها غیرقطعی (فازی) است.
۳. میزان هزینه‌های خرید و حمل و نقل مواد و محصولات مشخص و غیرقطعی (فازی) است.
۴. میزان هزینه‌های استفاده از تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و مراکز توزیع مشخص و قطعی است.
۵. بیشینه و کمینه تعداد تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و مراکز توزیعی که باید انتخاب شوند از سوی تصمیم‌گیرنده مشخص شده است.

در این تحقیق، مدل ارائه شده توسط آلتیپارماک و همکاران[۲۰] به‌عنوان مبنایی (لازم به ذکر است که در مدل آنها تنها به موضوع طراحی شبکه‌ی تأمین پرداخته شده اما موضوع ریسک و مدیریت ریسک بررسی نشده است) برای ارائه مدل پیشنهادی زیر در مدیریت ریسک شبکه‌ی تأمین در نظرگرفته شده است. نمادهای به‌کار رفته در مدل پیشنهادی مطابق جدول ۲ است.

مدل پیشنهادی برای طراحی شبکه‌ی تأمین با در نظرگرفتن ریسک در سطوح مختلف عبارت است از:

$$\min \sum_j FCD_j.z_j + \sum_k FCM_k.P_k + \sum_s FCS_s.O_s + \sum_j \sum_i V\tilde{C}D_{ji}.q_{ji} + \sum_k \sum_j V\tilde{C}M_{kj}.y_{kj} + \sum_s \sum_k V\tilde{C}S_{sk}.x_{sk} \quad (۹)$$

$$\min \sum_s \sum_k OR_{sk}.x_{sk} \quad (۱۰)$$

$$\min \sum_k \sum_j OR_{kj}.y_{kj} \quad (۱۱)$$

$$\min \sum_k \sum_j -CFaR_{kj}.y_{kj} \quad (۱۲)$$

$$\min \sum_j \sum_i VaRND_{ji}.q_{ji} \quad (۱۳)$$

Subject to :

$$\sum_j q_{ji} = \tilde{D}_i \qquad \forall i \quad (۱۴)$$

$$\sum_i q_{ji} = \sum_k y_{kj} \qquad \forall j \quad (۱۵)$$

$$\sum_s x_{sk} = \tilde{D}e_k \qquad \forall k \quad (۱۶)$$

$$\sum_i q_{ji} \le Z_j.C\tilde{a}pD_j \qquad \forall j \quad (۱۷)$$

$$\sum_j y_{kj} \le P_k.C\tilde{a}pM_k \qquad \forall k \quad (۱۸)$$

$$\sum_k x_{sk} \le O_s.C\tilde{a}pS_s \qquad \forall s \quad (۱۹)$$

$$ND_{\min} \le \sum_j Z_j \le ND_{\max} \quad (۲۰)$$

$$NM_{\min} \le \sum_k P_k \le NM_{\max} \quad (۲۱)$$

$$NS_{\min} \le \sum_s O_s \le NS_{\max} \quad (۲۲)$$

$$x_{sk}, y_{kj}, q_{ji} \ge ۰ \qquad Z_j, Z_{ji}, P_K, O_S \in \{۰, ۱\} \quad (۲۳)$$

تابع هدف اول (رابطه‌ی ۹) هزینه‌های استفاده از هریک از مراکز و هزینه‌های خرید مواد و محصولات و حمل و نقل آنها میان لایه‌های مختلف را کمینه می‌کند. تابع هدف دوم تا پنجم (رابطه‌های ۱۰ تا ۱۳) به‌ترتیب برای کمینه کردن ریسک عملیاتی تأمین‌کننده، ریسک عملیاتی تولیدکننده، ریسک مالی تولیدکننده و ریسک وقوع حوادث طبیعی و تصادفات برای مراکز توزیع در نظرگرفته می‌شود.

محدودیت اول (رابطه‌ی ۱۴) تقاضای هر مشتری را پوشش می‌دهد به‌طوری که برای هر مشتری، میزان کالای دریافتی از توزیع‌کنندگان مختلف باید برابر با مقدار تقاضای وی باشد. رابطه‌ی ۱۵ نشان می‌دهد برای هریک از توزیع‌کنندگان، میزان کالای منتقل شده توسط وی باید معادل میزان کالای دریافت شده از تولیدکنندگان مختلف باشد. همچنین میزان مواد فرستاده شده از سوی تأمین‌کنندگان مختلف برای هریک از تولیدکنندگان باید معادل میزان تقاضای آن تولیدکننده باشد

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. نمادهای به‌کارگرفته شده در مدل مدیریت ریسک در شبکه‌ی تأمین.

شاخصها	شرح
i	مشتری
j	توزیع‌کننده
k	تولیدکننده
S	تأمین‌کننده
متغیرهای تصمیم	**شرح**
x_{sk}	میزان کالای خریداری شده توسط کارخانه‌ی k از تأمین‌کننده‌ی s
y_{kj}	میزان محصول فرستاده شده از کارخانه‌ی k به توزیع‌کننده‌ی j
q_{ji}	میزان محصول فرستاده شده توسط توزیع‌کننده‌ی j به مشتری i
z_j	متغیر صفر و یک که نشان‌دهنده‌ی این است که آیا توزیع‌کننده‌ی j انتخابی است یا خیر
p_k	متغیر صفر و یک که نشان‌دهنده‌ی این است که آیا تولیدکننده‌ی k انتخابی است یا خیر
O_s	متغیر صفر و یک که نشان‌دهنده‌ی این است که آیا تأمین‌کننده‌ی s انتخابی است یا خیر
پارامترها	**شرح**
FCD_j	هزینه‌ی ثابت استفاده از (باز بودن) توزیع‌کننده‌ی j
FCM_k	هزینه‌ی ثابت انتخاب تولیدکننده‌ی k
FCS_s	هزینه‌ی ثابت انتخاب تأمین‌کننده‌ی s
VCD_{ji}	هزینه‌ی حمل و نقل به ازای یک واحد از محصول، از توزیع‌کننده‌ی j به مشتری i
VCM_{kj}	هزینه‌ی تولید و حمل به ازای یک واحد از محصول، از تولیدکننده‌ی k به توزیع‌کننده j
VCS_{sk}	هزینه‌ی خرید و حمل به ازای یک واحد از محصول، از تأمین‌کننده‌ی s به تولیدکننده k
$CapD_j$	ظرفیت توزیع‌کننده‌ی j
$CapM_k$	ظرفیت تولیدکننده‌ی k
$CapS_s$	ظرفیت تأمین‌کننده‌ی s
D_i	میزان تقاضای مشتری i
De_k	میزان تقاضای تولیدکننده‌ی k
OR_{sk}	میزان ریسک عملیاتی وارد شده به تولیدکننده‌ی k از سوی تأمین‌کننده‌ی s
OR_{jk}	میزان ریسک عملیاتی وارد شده به توزیع‌کننده‌ی j از سوی تولیدکننده‌ی k
$CFaR_k$	میزان ریسک مالی تولیدکننده‌یk (ریسک کمبود نقدینگی)
$VaRND_{ji}$	میزان ریسک ناشی از وقوع حوادث طبیعی برای توزیع‌کننده‌ی j در تحویل محصول به مشتری i
$ND\max$	بیشینه تعداد توزیع‌کنندگان انتخابی
$ND\min$	کمینه‌تعداد توزیع‌کنندگان انتخابی
$NM\max$	بیشینه تعداد تولیدکنندگان انتخابی
$NM\min$	کمینه تعداد تولیدکنندگان انتخابی
$NS\max$	بیشینه تعداد تأمین‌کنندگان انتخابی
$NS\min$	کمینه تعداد تأمین‌کنندگان انتخابی

www.SID.ir

Archive of SID

(رابطه‌ی ۱۶). رابطه‌های ۱۷ تا ۱۹ محدودیت ظرفیت تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و مراکز توزیع را لحاظ می‌کند. محدودیت‌های ذکرشده در روابط ۲۰ تا ۲۲ نیز اشاره دارد به کمینه و بیشینه تعداد تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و مراکز توزیعی که باید انتخاب شوند؛ محدودیت آخر (رابطه‌ی ۲۳) نیز وضعیت متغیرها را نشان می‌دهد.

با توجه به این که در این مدل هزینه‌های متغیر، تقاضاهای مشتری و تولیدکننده و نیز ظرفیت تأمین‌کننده، تولیدکننده و توزیع‌کننده به‌صورت اعداد فازی درنظرگرفته شده، استفاده از روشی برای حل مدل با پارامترهای فازی ضرورت می‌یابد. بدین‌منظور از روش ارائه شده توسط جیمنز و همکاران[۲۱] برای تبدیل مسئله به مسئله‌یی با پارامترهای غیرفازی استفاده شده است. مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی با پارامترهای فازی ۲۴ را درنظر بگیرید:

$$\min \quad z = \tilde{c}^t x$$
$$\text{s.t} \quad x \in N(\tilde{A}, \tilde{b}) = \{x \in R^n \,|\, \tilde{a}_i x \geq \tilde{b}_i, \quad i = ۱, ..., m, \quad x \geq ۰\} \qquad (۲۴)$$

می‌توان گفت بردار $x^*(\alpha) \in R^n$ جواب بهینه در سطح α (درجه‌ی عملی بودن) برای مدل ۲۴ است، اگر برای مدل ۲۵ نیز جواب بهینه باشد:

$$\min \quad EV(\tilde{c})x$$
$$\text{s.t} \quad x \in N_\alpha(\tilde{A}, \tilde{b}) = \{x \in R^n \,|\, \tilde{a}_i x \geq_\alpha \tilde{b}_i, \quad i = ۱, ..., m, \; x \geq ۰\} \qquad (۲۵)$$

که در آن برای اعداد فازی مثلثی $\tilde{a} = (a_۱, a_۲, a_۳)$ خواهیم داشت:

$$EV(\tilde{a}) = \frac{۱}{۴}(a_۱ + ۲a_۲ + a_۳) \qquad (۲۶)$$

و $\tilde{a}_i x \geq_\alpha \tilde{b}_i$ را می‌توان چنین نوشت:

$$[(۱-\alpha)E_۲^{a_i} + \alpha E_۱^{a_i}]x \geq \alpha E_۲^{b_i} + (۱-\alpha)E_۱^{b_i} \qquad (۲۷)$$

که در آن $E_۲^{a_i} = \frac{۱}{۲}(a_۲ + a_۳)$، $E_۱^{a_i} = \frac{۱}{۲}(a_۱ + a_۲)$ است و این بدان معناست که محدودیت مورد نظر با درجه‌ی α شدنی است. پس از حل مدل رابطه‌ی ۲۵ برای αهای مختلف، جواب‌های به دست آمده را در تابع هدف با پارامترهای فازی قرار داده و به این طریق مقادیر تابع هدف محاسبه می‌شود.

براساس مقادیر به دست آمده برای تابع هدف ($z^*(\alpha)$) می‌توان هدف را به‌صورت مجموعه‌یی فازی با تابع عضویت زیر (رابطه‌ی ۲۸) نمایش داد که در آن $\underline{G}$ و $\overline{G}$ به‌ترتیب کم‌ترین و بیشترین مقادیر تابع هدف به دست آمده از حل مدل برای αهای مختلف هستند:

$$\mu_{\tilde{G}}(z) = \begin{cases} ۱ & if \; z \leq \underline{G} \\ \lambda \in [۰, ۱] & \underline{G} \leq z \leq \bar{G} \\ ۰ & if \; z \geq \bar{G} \end{cases} \qquad (۲۸)$$

در مرحله‌ی بعد برای هر تابع هدف ($z^*(\alpha)$) شاخص یاگر طبق رابطه‌ی ۲۹ محاسبه می‌شود:

$$K_{\tilde{G}}(z^*(\alpha)) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} \mu_{z^*(\alpha)}(z).\mu_{\tilde{G}}(z)dz}{\int_{-\infty}^{+\infty} \mu_{z^*(\alpha)}(z)dz} \qquad (۲۹)$$

سپس مقادیر $\alpha.K_{\tilde{G}}(z^*(\alpha))$ محاسبه، و در انتها تابع هدف مربوط به بیشترین مقدار $\alpha.K_{\tilde{G}}(z^*(\alpha))$ به‌عنوان مقدار بهینه‌ی تابع هدف انتخاب می‌شود.

۴. مثال عددی برای کاربرد مدل پیشنهادی

در این بخش مثالی برای بررسی کاربرد مدل پیشنهادی ارائه می‌شود. شبکه‌ی مورد بررسی در این مثال شامل ۶ تأمین‌کننده‌ی بالقوه، ۴ تولیدکننده، ۴ مرکز توزیع و ۴ مشتری است. بیشینه تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگانی که باید انتخاب شوند به‌ترتیب ۵، ۳ و ۳ و کمینه آنها به‌ترتیب ۴، ۲ و ۲ است.

مدل ارائه شده شامل چندین تابع هدف است که با درنظرگرفتن اهمیت هریک از توابع هدف و تعیین وزن برای آنها، به مدلی با یک تابع هدف تبدیل شده است (در اینجا برای دو تابع هدف اول و تابع هدف چهارم ضریب اهمیت ۰٫۲، و برای تابع هدف سوم ضریب اهمیت، ۰٫۲۲۵ و برای تابع هدف آخر ضریب اهمیت ۰٫۱۷۵ درنظرگرفته شده است). داده‌های مربوط به هزینه‌های حمل و خرید، ریسک‌های مربوط به اجزاء مختلف و اطلاعات مربوط به ظرفیت و تقاضاها در جداول ۳ تا ۱۳ ارائه شده است. برای حل مدل اجرای گام‌های زیر لازم است:

ابتدا تمامی مقادیر فازی $(a_۱, a_۲, a_۳)$ موجود در تابع هدف از طریق رابطه‌ی $\frac{۱}{۴}(a_۱ + ۲a_۲ + a_۳)$ به یک عدد غیرفازی تبدیل شود. سپس تمامی محدودیت‌هایی که در آنها اعداد فازی وجود دارد براساس رابطه‌ی ۲۷ به محدودیت‌هایی غیر فازی تبدیل شود. سپس مدل به‌ازای αهای مختلف حل شود. برای مثال جواب بهینه‌ی حاصل از حل مدل برای $\alpha = ۰٫۴$ به‌صورت زیر است:

$z_۲, z_۳, z_۴ = ۱$	$p_۱, p_۳, p_۴ = ۱$	$o_۲, o_۴, o_۵, o_۶ = ۱$
$x_{۲۱} = ۱۵۸۰$	$y_{۱۲} = ۵۱۶۰$	$q_{۲۲} = ۳۹۸۰$
$x_{۲۴} = ۳۹۸۰$	$y_{۳۳} = ۵۰۲۰$	$q_{۲۳} = ۱۱۸۰$
$x_{۵۱} = ۲۴۰۰$		$q_{۳۴} = ۲۷۹۰$
$x_{۵۳} = ۲۶۲۰$		$q_{۴۱} = ۲۷۲۰$
$x_{۶۲} = ۲۹۳۰$		$q_{۴۳} = ۳۵۰$ (۳۰)

رابطه‌ی ۳۰ نشان می‌دهد که در این سطح از عملی‌بودن محدودیت‌ها ($\alpha = ۰٫۴$) بهتر است از تأمین‌کنندگان دوم، چهارم، پنجم و ششم استفاده شود. تولیدکنندگان اول، سوم و چهارم و توزیع‌کنندگان دوم، سوم و چهارم انتخاب شود. میزان جریان مواد بین اجزاء انتخابی نیز در این رابطه مشخص شده است. مقادیر تابع هدف برای αهای مختلف در جدول ۱۴ ارائه شده است.

سپس تابع عضویت برای مقادیر تابع هدف ایجاد می‌شود، که با توجه به داده‌های جدول ۱۴ و با فرض خطی بودن تابع عضویت خواهیم داشت:

$$\mu_{\tilde{G}}(z) = \begin{cases} ۱ & if z \leq ۱۵۸۴۷۶۳۲ \\ \frac{۲۰۶۲۰۱۶۰ - z}{۲۰۶۲۰۱۶۰ - ۱۵۸۴۷۶۳۲} & ۱۵۸۴۷۶۳۲ \leq z \leq ۲۰۶۲۰۱۶۰ \\ ۰ & if z \geq ۲۰۶۲۰۱۶۰ \end{cases} \qquad (۳۱)$$

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. هزینه‌های خرید و حمل محصول از تأمین‌کنندگان به تولیدکنندگان، به‌ازای یک واحد محصول (در ۱۰۰ ضرب شود).

تولیدکننده	تأمین‌کننده					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	(۴،۶،۶)	(۲،۴،۴)	(۳،۴،۵)	(۴،۵،۶)	(۴،۴،۵)	(۳،۴،۵)
۲	(۵،۶،۷)	(۴،۵،۶)	(۹،۱۰،۱۱)	(۳،۵،۶)	(۴،۵،۶)	(۳،۴،۵)
۳	(۴،۵،۶)	(۴،۵،۷)	(۴،۶،۷)	(۵،۶،۷)	(۳،۴،۵)	(۶،۷،۸)
۴	(۴،۵،۶)	(۳،۴،۵)	(۴،۵،۷)	(۶،۸،۹)	(۵،۶،۷)	(۸،۹،۱۰)

جدول ۴. هزینه‌های تولید و حمل محصول از تولیدکنندگان به توزیع‌کنندگان، به ازای یک واحد محصول (در ۱۰۰ ضرب شود).

تولیدکننده	توزیع‌کننده			
	۱	۲	۳	۴
۱	(۷،۷،۸)	(۲،۳،۴)	(۷،۹،۱۰)	(۳،۵،۶)
۲	(۸،۹،۱۰)	(۴،۵،۶)	(۵،۶،۷)	(۴،۵،۶)
۳	(۴،۴،۶)	(۳،۵،۶)	(۳،۴،۵)	(۵،۶،۷)
۴	(۴،۵،۵)	(۳،۴،۵)	(۹،۱۰،۱۱)	(۳،۴،۵)

جدول ۵. هزینه‌های حمل محصول از توزیع‌کنندگان به مشتریان مختلف، به ازای یک واحد محصول (در ۱۰۰ ضرب شود).

توزیع‌کننده	مشتری			
	۱	۲	۳	۴
۱	(۲،۲،۴)	(۲،۳،۴)	(۲،۳،۴)	(۴،۵،۶)
۲	(۴،۶،۷)	(۴،۵،۶)	(۵،۷،۷)	(۳،۵،۶)
۳	(۴،۵،۶)	(۴،۶،۷)	(۳،۴،۵)	(۳،۳،۴)
۴	(۲،۳،۴)	(۴،۴،۵)	(۴،۵،۶)	(۳،۴،۵)

جدول ۶. هزینه ثابت استفاده از هر یک از تأمین‌کنندگان (در ۱۰۰ ضرب شود).

تامین‌کننده	۱	۲	۳	۴	۵	۶
هزینه	(۵،۵،۵)	(۳،۴،۴)	(۳،۴،۵)	(۵،۵،۶)	(۴،۴،۵)	(۴،۵،۶)

جدول ۷. هزینه ثابت استفاده از هر یک از تولیدکنندگان (در ۱۰۰ ضرب شود).

تولیدکننده	۱	۲	۳	۴
هزینه	(۴،۴،۵)	(۳،۴،۵)	(۳،۳،۴)	(۴،۵،۷)

جدول ۸. هزینه ثابت استفاده از هر یک از توزیع‌کنندگان (در ۱۰۰ ضرب شود).

توزیع‌کننده	۱	۲	۳	۴
هزینه	(۳،۴،۵)	(۵،۵،۵)	(۳،۳،۴)	(۴،۵،۸)

جدول ۹. میزان «ریسک عملیاتی تأمین‌کنندگان» در سطح اطمینان ۹۵٪.

تولیدکننده	تأمین‌کننده					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	۱۲۳۴	۱۱۴۳	۱۴۵۲	۱۳۷۶	۱۲۵۴	۱۳۹۲
۲	۱۳۴۷	۱۳۸۹	۱۸۳۴	۱۲۶۶	۱۴۳۵	۱۲۸۷
۳	۱۴۳۶	۱۶۳۴	۱۴۲۸	۱۲۹۳	۱۴۵۴	۱۶۷۲
۴	۱۷۴۳	۱۵۶۳	۱۷۵۳	۱۶۴۲	۱۷۳۵	۱۷۳۸

جدول ۱۰. میزان «ریسک عملیاتی تولیدکنندگان» در سطح اطمینان ۹۵٪.

تولیدکننده	۱	۲	۳	۴
ریسک عملیاتی	۱۵۱۸	۱۴۳۱	۱۶۱۸	۱۵۲۲

جدول ۱۱. میزان «ریسک مالی تولیدکننده» در سطح اطمینان ۹۵٪.

تأمین‌کننده	۱	۲	۳	۴
ریسک جریان نقدی	−۱۶۷۳	−۱۴۳۷	−۱۳۰۹	−۱۵۴۲

جدول ۱۲. میزان «ریسک حوادث طبیعی توزیع‌کنندگان» در سطح اطمینان ۹۵٪.

توزیع‌کننده	مشتری			
	۱	۲	۳	۴
۱	۱۷۲۳	۱۵۶۶	۱۴۵۶	۱۴۲۳
۲	۱۳۶۲	۱۳۸۲	۱۳۶۷	۱۵۶۳
۳	۱۶۳۴	۱۵۴۶	۱۴۵۶	۱۲۳۶
۴	۱۵۲۸	۱۶۲۷	۱۶۳۵	۱۷۴۵

جدول ۱۳. ظرفیت تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده و تقاضای تولیدکننده و مشتری (در ۱۰۰ ضرب شود).

	تأمین‌کننده	تولیدکننده	توزیع‌کننده	تقاضای تولیدکننده	مشتری
۱	(۴۸،۵۰،۵۲)	(۶۹،۷۰،۷۲)	(۵۶،۵۷،۵۸)	(۳۸،۴۰،۴۲)	(۲۴،۲۸،۳۰)
۲	(۵۲،۵۵،۵۹)	(۶۵،۶۶،۶۷)	(۵۰،۵۲،۵۲)	(۲۵،۳۰،۳۴)	(۳۸،۴۰،۴۲)
۳	(۴۹،۵۲،۵۳)	(۶۴،۶۵،۶۷)	(۴۸،۵۰،۵۲)	(۳۴،۳۶،۳۷)	(۳۶،۳۸،۳۹)
۴	(۴۴،۴۷،۵۱)	(۶۰،۶۲،۶۳)	(۳۸،۴۲،۴۴)	(۳۸،۴۰،۴۲)	(۲۷،۲۸،۲۹)
۵	(۴۵،۵۰،۵۴)				
۶	(۴۲،۴۵،۵۰)				

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۴. مقادیر تابع هدف به‌ازای αهای مختلف.

تابع هدف	درجه‌ی قابل قبول بودن (α)
(۱۵۸۴۷۶۳۲, ۱۵۸۵۵۴۱۶, ۱۵۸۶۳۲۷۴)	۰٫۴
(۱۸۴۴۳۹۷۵, ۱۹۲۱۵۸۵۵, ۱۹۹۸۶۵۷۶)	۰٫۵
(۱۸۵۶۳۴۲۷, ۱۹۳۳۷۱۰۷, ۲۰۱۱۴۵۲۷)	۰٫۶
(۱۸۷۹۹۶۴۳, ۱۹۵۷۶۵۲۳, ۲۰۳۶۷۳۴۳)	۰٫۸
(۱۹۰۳۵۸۶۰, ۱۹۸۱۵۹۴۰, ۲۰۶۲۰۱۶۰)	۱

در این مرحله شاخص سازگاری هر راه حل با نظر تصمیم‌گیرنده (شاخص یاگر) محاسبه می‌شود که مقادیر آن عبارت است از:

$$K_{\tilde{G}}(z^*(۰٫۴)) = ۰٫۹۹ \qquad K_{\tilde{G}}(z^*(۰٫۵)) = ۰٫۲۹$$
$$K_{\tilde{G}}(z^*(۰٫۶)) = ۰٫۲۷ \qquad K_{\tilde{G}}(z^*(۰٫۸)) = ۰٫۲۲$$
$$K_{\tilde{G}}(z^*(۱)) = ۰٫۱۷ \qquad (۳۲)$$

و بر این اساس خواهیم داشت:

$$\mu_{\tilde{D}}(x^*(\alpha)) = \alpha.K_{\tilde{G}}(z^*(\alpha))$$
$$\mu_{\tilde{D}}(x^*(۰٫۴)) = ۰٫۴ \times ۰٫۹۹ = ۰٫۳۹۶$$
$$\mu_{\tilde{D}}(x^*(۰٫۵)) = ۰٫۵ \times ۰٫۲۹ = ۰٫۱۴۵$$
$$\mu_{\tilde{D}}(x^*(۰٫۶)) = ۰٫۶ \times ۰٫۲۷ = ۰٫۱۶۲$$
$$\mu_{\tilde{D}}(x^*(۰٫۸)) = ۰٫۸ \times ۰٫۲۲ = ۰٫۱۷۶$$
$$\mu_{\tilde{D}}(x^*(۱)) = ۱ \times ۰٫۱۷ = ۰٫۱۷ \qquad (۳۳)$$

با توجه به این که بیشترین درجه‌ی عضویت $\mu_{\tilde{D}}(x^*(\alpha))$ مربوط به $\alpha = ۰٫۴$ است، جواب مسئله‌ی فازی همان جواب مربوط به $\alpha = ۰٫۴$ ــ یعنی مقادیر رابطه‌ی ۳۰ ــ است. در صورتی که تصمیم‌گیرنده با این سطح از عملی بودن محدودیت‌ها موافق نباشد باید مقدار $\mu_{\tilde{D}}(x^*(\alpha))$ برای سطوح دیگر مورد بررسی قرار گیرد.

۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق موضوع برنامه‌ریزی شبکه‌ی تأمین با درنظرگرفتن فاکتورهای ریسک مورد بررسی قرارگرفت. بدین‌منظور یک مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط عدد صحیح خطی با هدف کمینه‌کردن هزینه‌های مربوط به خرید و حمل اقلام و ریسک‌های موجود در سطوح مختلف شبکه‌ی تأمین ارائه شد و از نظریه‌ی اعداد فازی برای مدل‌سازی عدم قطعیت موجود در پارامترهای مدل پیشنهادی استفاده شد. در این مدل، ریسک عملیاتی تأمین‌کنندگان، ریسک عملیاتی و مالی تولیدکنندگان، و ریسک وقوع حوادث برای مراکز توزیع به‌عنوان ریسک‌های موجود در سطوح مختلف شبکه‌ی تأمین درنظرگرفته شده است. همچنین با استفاده از روش ارزش در معرض ریسک، نظریه‌ی مقدار فرین و جریان نقدی در معرض ریسک، روشی برای کمی‌کردن ریسک‌های مذکور ارائه‌شد که در آن براساس اطلاعات مربوط به دفعات وقوع مشکلات و حوادث مذکور و زیان وارده به سازمان به‌دلیل وقوع آنها، میزان ریسک ناشی از وقوع چنین حوادثی محاسبه می‌شود. در انتها نیز مثالی برای بررسی کاربرد مدل پیشنهادی ارائه‌شد. براساس این مدل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و مراکز توزیع و میزان جریان مواد و کالای میان آنها به‌گونه‌یی انتخاب شده‌اند که میزان ریسک و هزینه‌های شبکه‌ی کمینه شود.

پانوشت‌ها

1. royal society
2. failure mode, effects and criticality analysis
3. timed petri nets
4. chance constrained programming (CCP)
5. data envelopment analysis (DEA)
6. disruption
7. multi-agent based decision support system
8. vulnerability
9. multi-objective stochastic programming approach
10. Longin et al
11. Frechet distribution
12. Gumbel distribution
13. Weibull distribution
14. maximum likelihood
15. probability weighted moments
16. biase
17. Kolmogorov-Smirnov
18. Towers Perrin
19. mixed-integer linear problem (MILP)

منابع (References)

1. Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., Simchi-Levi, E., *Designing and Managing the Supply Chain*, Concepts, Strategies and Case Studies, MacGrow-Hill (2000).
2. Australian Standard: Risk Management, AS/NZS 4360 (1999).
3. Vaughan, E.J. and Vaughan, T., *Fundamentals of Risk and Insurance*, 8 th edition, Jon Wiley & Sons (1999).
4. Tang, C.S. "Perspectives in supply chain risk management", *Int. J. Production Economics*, **103**, pp. 451-488 (2006).
5. Tuncel, G. and Alpan, G. "Risk assessment and management for supply chain networks: A case study", *Computers in Industry*, **61**, pp. 250-259 (2010).
6. Wu, D. and Olson, D.L. "Supply chain risk, simulation, and vendor selection", *Int. J. Production Economics*, **114**, pp. 646-655 (2008).
7. Goh, M., Lim, J.Y.S. and Meng, F. "A stochastic model for risk management in global supply chain networks",

www.SID.ir

Archive of SID

European Journal of Operational Research, **182**, pp. 164-173 (2007).

8. Giannakis, M. and Louis, M. "A multi-agent based framework for supply chain risk management", *Journal of Purchasing & Supply Management*, **17**(1), pp. 23-31 (2011).
9. Punniyamoorthy, M., Thamaraiselvan, N. and Manikandan, L. "Assessment of supply chain risk: scale development and validation", *Benchmarking: An International Journal*, **20**(1), pp. 79-10 (2013).
10. Oke, A. and Gopalakrishnan, M. "Managing disruptions in supply chains: A case study of a retail supply chain", *Int. J. Production Economics*, **118**, pp. 168-174 (2009).
11. Wagner, S.M. and Neshat, N. "Assessing the vulnerability of supply chains using graph theory", *Int. J. Production Economics*, **126**, pp. 121-129 (2010).
12. Ravindran, A.R., Bilset, R.U., Wadhwa, V. and Yang, T. "Risk adjusted multicriteria supplier selection models with applications", *International Journal of Production Research*, **48**(2), pp. 405-424 (2010).
13. Azaron, A., Brown, K.N., Tarim, S.A. and Modarres, M. "A multi-objective stochastic programming approach for supply chain design considering risk", *Production Economics*, **116**, pp. 129-13 (2008).
14. Brindley, C., *Supply chain risk*, England, ASHGATE (2004).
15. Andrea, R. and Andrea, S., *Risk Management and Shareholders' Value in Banking From Risk*, England, John Wiley & Sons Ltd (2007).
16. Radpour, M., Rasoulzadeh, A. and Lohrasbi, E., *Risk Management: Value at Risk Method*, Complex System Analysers Matrix (2009)
17. Yang, T. "Multi objective optimization models for managing supply risk In supply chains", A Thesis in Industrial Engineering and Operations Research (2007).
18. Hosking, J.R.M., Wallis, J.R. and Wood, E.F. "Estimation of the generalized extreme-value distribution by the method of probability weighted moments", *Technometrics*, **27**(3), pp. 251-261 (1985).
19. Erik, B., *Liquidity Risk Managing Asset and Funding Risk*, New York, PALGRAVE MACMILLAN (2005).
20. Altiparmak, F., Gen, M., Lin, L. and Paksoy, T. "A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks", *Computers & Industrial Engineering*, **51**, pp. 196-215 (2006)
21. Jimenez, M., Arenas, M., Bilbao, A. and Rodriguez, M.V. "Linear programming with fuzzy parameters: An interactive method resolution", *European Journal of Operational Research*, **177**, pp. 1599-1609 (2007).

www.SID.ir