

برنامه ریزی شبکه‌ی تأمین با در نظر گرفتن ریسک

معصومه مهرعلی دهنوی (کارشناس ارشد)

عبدالله آقایی* (استاد)

مصطفی ستاک (دانشیار)

دانشکده‌ی هندی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، زمستان ۱۳۹۴
دوری ۱ - ۳۱، شماره ۲/۱، ص. ۲۵-۳۵

در سال‌های اخیر به دلیل 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 به دلیل 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، تعیین یافته، جریان نقد در معرض ریسک، نظریه‌ی اعداد فازی.

۱. مقدمه

مدیریت زنجیره‌ی تأمین مجموعه‌ی از رویکردهای مورد استفاده برای یک پارچه‌سازی مؤثر تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و فروشگاه‌ها، به منظور 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 محصولات 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 به عنوان «احتمال وقوع یک پیشامد ناسازگار طی یک دوره‌ی زمانی معین» تعریف کرده است.^[۳]

برای مقابله با ریسک‌ها، کاهش احتمال وقوع، یا کم کردن 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

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۲۳/۲/۱۳۹۲، اصلاحیه ۲۱/۴/۱۳۹۲، پذیرش ۳۱/۳/۱۳۹۳.

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]

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

از دیدگاه تنگ مدیریت ریسک زنجیره‌ی تأمین، مدیریت ریسک‌های موجود در زنجیره‌ی تأمین از طریق افزایش هماهنگی و همکاری میان اجزاء زنجیره‌ی تأمین است به گونه‌ی 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 به دلیل 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. به عنوان مثال، ضمن شناسایی و ارزیابی ریسک‌های

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 در نظر گرفتن 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 در نظر گرفتن ریسک، عواملی مانند تأخیر در تحویل، کیفیت و تقاضا به صورت پارامترهای غیر قطعی و دارای توزیع احتمال در نظر گرفته 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 چندعملی^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. به عنوان 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. بدین منظور 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 -- نظیر استفاده از نظریه‌ی گراف روشی برای کمی‌کردن و کاهش آسیب‌پذیری^۸ زنجیره‌ی تأمین -- ارائه شده است.^[۱۱] دیگر محققین نیز مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده را با در نظر گرفتن ریسک، به صورت 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 زبان 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 -- بدون توجه به سایر ریسک‌های موجود در زنجیره‌ی تأمین -- مورد بررسی قرار گرفته است. خلاصه‌یی از اهم مقالات منتشره در زمینه‌ی مدیریت ریسک زنجیره‌ی تأمین در جدول ۱ ارائه شده است. به طور 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 به عنوان معیاری در انتخاب تأمین‌کنندگان (در تحلیل سلسله مراتبی) در نظر گرفته‌اند. در این میان تعداد اندکی از مقالات به بررسی انواع ریسک‌های تأمین و ارائه‌ی مدل‌های ریاضی برای کمی‌کردن و کاهش ریسک‌های تأمین اختصاص داشته، که آنها نیز تمامی ریسک‌های تأمین را به صورت جامع پوشش ندادند. بر این اساس می‌توان گفت مدیریت ریسک شبکه‌ی تأمین از طریق در نظر گرفتن 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 بدین منظور از روش‌های ارزش در معرض ریسک، نظریه‌ی مقدار فرین و جریان نقد در معرض ریسک برای کمی‌کردن 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 -- 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 عدم ثبات مالی تولیدکننده به عنوان «معیاری برای ریسک مالی تولیدکننده» پیشنهاد می‌شود.

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

$$\text{ریسک} = \text{احتمال وقوع} \times \text{پیشامد} \times \text{اثر وقوع (میزان ضرر)}$$

در این جا 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 به عنوان ابزار مدیریت ریسک مالی و معیاری برای اندازه‌گیری ریسک بازار معرفی شد. ارزش در معرض ریسک به عنوان معیاری برای تعیین بیشینه خسارتی که یک سازمان، در یک سطح اطمینان معین و در طول دوره‌ی زمانی تعیین شده متحمل می‌شود، کاربرد دارد. به عبارت 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 بی‌بازاری از ریسک است، به طوری که هرچه این میزان بیشتر باشد سطح اطمینان در نظر گرفته شده نیز بیشتر خواهد بود.^[۱۵]

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

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 مارکن 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 لوتیس	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 سیپیو و همکاران	۲۰۱۰	مدل‌سازی	ریسک مالی	برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح خطی	مدیریت ریسک
۹ راولیندرن و همکاران	۲۰۱۰	مدل‌سازی	ریسک تأمین و شکست	تکنیک‌های بهینه‌سازی چند معیاره، نظریه‌ی ارزش بی‌نهایت، 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 هونینگ	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 گاپالاکریشن	۲۰۰۹	مطالعه‌ی موردی	تأمین، تقاضا و ریسک‌های فاجعه‌آمیز	ارائه‌ی استراتژی‌های عمومی برای کاهش ریسک	شناسایی ریسک
۱۷ یوته و همکاران	۲۰۰۹	مدل‌سازی	ریسک شکست	روشی برای تصمیم درمورد منبع‌یابی تکی یا دوتایی	مدیریت ریسک
۱۸ ترکمن و مک کورمک	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	شناسایی ریسک
۲۲ بلوس و دیگران	۲۰۰۹	مطالعه‌ی موردی	—	—	—
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 شوهر 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 لوری	۲۰۰۸	مطالعه‌ی موردی	تأمین، ریسک حوادث طبیعی و انسانی و ریسک حمل و نقل	فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، روشی برای انتخاب تأمین‌کنندگان با در نظر گرفتن ریسک	مدیریت ریسک
۳۱ میکلی و همکاران	۲۰۰۸	مطالعه میدانی	ریسک تأمین	مدیریت ریسک تأمین هنگام انتخاب تأمین‌کننده	مدیریت ریسک
۳۲ کریگند و همکاران	۲۰۰۷	مفهومی	ریسک شکست	—	مدیریت ریسک

* relational risk

** value-focused process engineering

*** contingency theory

ادامه‌ی جدول ۱.

بخش مورد بررسی	روش	نوع ریسک	نوع مطالعه (رویکرد)	سال	نویسنده
مدیریت ریسک	یکپارچه کردن ابعاد ریسک و عملکرد	—	مفهومی	۲۰۰۷	ریچی و بردلی
مدیریت ریسک	مدل‌های تصادفی	تأمین، تقاضا، نرخ مبادله‌ی ارز و شکست	مدل‌سازی	۲۰۰۷	گو و همکاران
مدیریت ریسک	نظریه‌ی گراف و مدل ساختاری تفسیری	ریسک‌های مربوط به اطلاعات	مفهومی	۲۰۰۷	فیسل و همکاران
—	—	—	مرور ادبیات	۲۰۰۷	خان و بورنس
—	—	—	مرور ادبیات	۲۰۰۶	تنگ
شناسایی و ارزیابی و مدیریت ریسک	تکنیک فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی	تأمین	مدل‌سازی	۲۰۰۶	وو و همکاران
مدیریت ریسک	مدل ساختاری تفسیری	—	مفهومی	۲۰۰۶	فیسل و همکاران
مدیریت ریسک	بررسی ارتباط آسیب‌پذیری و ریسک	تأمین، تقاضا و ریسک‌های فاجعه‌آمیز	مطالعه میدانی	۲۰۰۶	واگنر و بود
ارزیابی و مدیریت ریسک	—	حوادث طبیعی، اعتصاب، شکست‌های اقتصادی و تروریسم	مفهومی	—	کلاینورفر و سعد
مدیریت ریسک	—	تأمین، تقاضا و محیطی	مفهومی	۲۰۰۵	جوئتر
شناسایی ریسک	—	—	مفهومی	۲۰۰۵	کوی ناتو
مدیریت ریسک	—	شکست	مطالعه‌ی موردی	۲۰۰۵	بلاکخورست
شناسایی ریسک	برنامه‌ی اقتصادی تجاری	تأمین	مطالعه‌ی موردی	۲۰۰۵	سایدیزین و همکاران
مدیریت ریسک	—	تأمین	مطالعه‌ی موردی	۲۰۰۵	سایدیزین و اسمیت
مدیریت ریسک	—	—	مطالعه‌ی موردی	۲۰۰۴	نرمن و جانسون
مدیریت ریسک	IDEFO	تأمین	مطالعه‌ی موردی	۲۰۰۴	سینها و همکاران
مدیریت ریسک	—	—	مطالعه‌ی موردی	۲۰۰۴	فینچ
شناسایی، دسته‌بندی و مدیریت ریسک	—	شکست‌ها، تأخیرها، سیستم‌ها، پیش‌بینی، دارایی‌های ذهنی، تهیه، دریافت، موجودی و ظرفیت	مفهومی	۲۰۰۴	چوپرا و سودهی
مدیریت ریسک	نظریه‌ی عاملیت****	تأمین	مطالعه میدانی	۲۰۰۳	سایدیزین و الرام
شناسایی و دسته‌بندی	—	تأمین	مطالعه‌ی موردی	۲۰۰۳	سایدیزین
شناسایی ریسک	—	تأمین	مفهومی	۲۰۰۳	سایدیزین
شناسایی، ارزیابی و مدیریت ریسک	—	تأمین	مفهومی	۲۰۰۳	هارلاندا و همکاران
مدیریت ریسک	—	—	مفهومی	۲۰۰۰	ریچی و بردلی
مدیریت ریسک	برنامه‌ریزی تصادفی	مالی	مدل‌سازی	۲۰۰۰	اپلکوئیست

**** agency theory

یکی از این روش‌ها نظریه‌ی مقدار فرین است که در دهه‌ی ۹۰ میلادی توسط لوپن و همکاران^{۱۰} معرفی شد. با این فرض که مدیران ریسک به تمرکز بر مقادیر کرانی توزیع خسارات آبی و به‌طور کلی 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.^{[۱۵]۱۶} 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

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 در گام اول تعیین شده است) و استفاده از آن به عنوان احتمال وقوع پیشامد (p) در رابطه‌ی ۸.

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

$$x = \frac{\delta(1 - (-\ln p)^{\kappa})}{\kappa} + \lambda \quad (۸)$$

۴. جمع اعداد به صورت 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 به معنی در دسترس بودن وجه نقد است؛ بنابراین می‌توان ریسک نقدینگی را ریسک زیان ناشی از فقدان وجه نقد و به عبارتی ریسک ناشی از عدم توانایی در تأمین وجه به میزان قابل قبول (از نظر اقتصادی) تعریف کرد.^{۱۹} براساس نظر خیرگان، 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 در نظر گرفتن طیف وسیعی از عواملی که سازمان را با ریسک مواجه می‌سازند تأثیر آنها را بر درآمد سازمان اندازه می‌گیرد. در واقع جریان نقدی در معرض 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^{۱۸} ارائه شده، جریان نقدی تحت تأثیر مواردی چون تغییرات نرخ بهره، نرخ ارز، قیمت اقلام و هزینه‌ها، و عوامل اقتصادی 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 هر یک 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 در نظر گرفتن ضرایب به دست آمده از رگرسیون، میزان جریان نقدی و ارزش در معرض ریسک آن محاسبه می‌شود.

۳. مدل مدیریت ریسک شبکه‌ی تأمین

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

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 فرجت^{۱۱}، اگر $\kappa = 0$ آنگاه توزیع مقدار فرین تعمیم‌یافته به توزیع گامبل^{۱۲}، و اگر $\kappa < 0$ توزیع مقدار فرین تعمیم‌یافته به توزیع وایبال^{۱۳} بدل می‌شود.

روش‌های زیادی برای تخمین و برآورد پارامترهای توزیع مقدار فرین تعمیم‌یافته وجود دارد، نظیر: بیشترین درست‌نمایی^{۱۴}، روش رگرسیون، روش گشتاور، روش گشتاور احتمال وزنی^{۱۵}. با توجه به این که برای نمونه‌های با اندازه‌ی کوچک روش گشتاور احتمال وزنی کم‌ترین میزان اریب^{۱۶} را دارد، در این مقاله از روش گشتاور احتمال وزنی برای برآورد پارامترهای توزیع مقدار فرین تعمیم‌یافته استفاده شده است.^{۱۷} فرض کنید نمونه‌ی تصادفی با اندازه‌ی n از توزیع $F_{\lambda, \delta, \kappa}(x)$ وجود دارد، تخمین گشتاورها براساس نمونه‌های مرتب شده به صورت صعودی $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$ بسیار راحت‌تر خواهد بود. آماره‌ی $\hat{\beta}_r$ یک برآوردکننده‌ی ناریب برای گشتاور r ام است.

$$\hat{\beta}_r [p_{i,n}] = n^{-1} \sum_{i=1}^n p_{i,n}^r \cdot x_i \quad (۲)$$

به طوری که $0 < a < 1$ ، $p_{i,n} = (i-a)/n$. هدف از به کار بردن a ایجاد نقاطی است که به طور همگن در بازه‌ی $[0, 1]$ گسترده شده‌اند؛ در نتیجه برآوردکننده‌های پارامترهای توزیع مقدار فرین تعمیم‌یافته عبارت خواهد بود از:^{۱۸}

$$c = \frac{2\beta_1 - \beta_0}{3\beta_2 - \beta_0} - \frac{\log 2}{\log 3} \quad (۳)$$

$$\hat{\kappa} = 7,8559c + 2,9552c^2 \quad (۴)$$

$$\hat{\delta} = \frac{(2\beta_1 - \beta_0)\hat{\kappa}}{\Gamma(1 + \hat{\kappa})(1 - 2^{\hat{\kappa}})} \quad (۵)$$

$$\hat{\lambda} = \beta_0 + \frac{\hat{\kappa}}{\delta} (\Gamma(1 + \hat{\kappa}) - 1) \quad (۶)$$

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 - اسمیرنوف^{۱۷} استفاده شود.^{۱۶}

۲.۲. محاسبه‌ی احتمال وقوع پیشامد

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

$$P_k = \frac{e^{-\lambda} \cdot \lambda^k}{k!} \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (۷)$$

برآورد λ به روش بیشینه درست‌نمایی به صورت $\hat{\lambda} = \bar{x}$ 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

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

$$\min \sum_j FC D_j \cdot z_j + \sum_k FCM_k \cdot P_k + \sum_s FCS_s \cdot O_s + \sum_j \sum_i V\check{C}D_{ji} \cdot q_{ji} + \sum_k \sum_j V\check{C}M_{kj} \cdot y_{kj} + \sum_s \sum_k V\check{C}S_{sk} \cdot x_{sk} \quad (9)$$

$$\min \sum_s \sum_k OR_{sk} \cdot x_{sk} \quad (10)$$

$$\min \sum_k \sum_j OR_{kj} \cdot y_{kj} \quad (11)$$

$$\min \sum_k \sum_j -CFaR_{kj} \cdot y_{kj} \quad (12)$$

$$\min \sum_j \sum_i VaRN D_{ji} \cdot q_{ji} \quad (13)$$

Subject to :

$$\sum_j q_{ji} = \check{D}_i \quad \forall i \quad (14)$$

$$\sum_i q_{ji} = \sum_k y_{kj} \quad \forall j \quad (15)$$

$$\sum_s x_{sk} = \check{D}e_k \quad \forall k \quad (16)$$

$$\sum_i q_{ji} \leq Z_j \cdot C\check{a}pD_j \quad \forall j \quad (17)$$

$$\sum_j y_{kj} \leq P_k \cdot C\check{a}pM_k \quad \forall k \quad (18)$$

$$\sum_k x_{sk} \leq O_s \cdot C\check{a}pS_s \quad \forall s \quad (19)$$

$$ND_{\min} \leq \sum_j Z_j \leq ND_{\max} \quad (20)$$

$$NM_{\min} \leq \sum_k P_k \leq NM_{\max} \quad (21)$$

$$NS_{\min} \leq \sum_s O_s \leq NS_{\max} \quad (22)$$

$$x_{sk}, y_{kj}, q_{ji} \geq 0 \quad Z_j, Z_{ji}, P_k, O_s \in \{0, 1\} \quad (23)$$

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 کمیته می‌کند. تابع هدف دوم تا پنجم (رابطه‌های ۱۰ تا ۱۳) به ترتیب برای کمیته کردن ریسک عملیاتی تأمین‌کننده، ریسک عملیاتی تولیدکننده، ریسک مالی تولیدکننده و ریسک وقوع حوادث طبیعی و تصادفات برای مراکز توزیع در نظر گرفته می‌شود.

محدودیت اول (رابطه‌ی ۱۴) تقاضای هر مشتری را پوشش می‌دهد به طوری 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

هزینه‌ها و ظرفیت) مورد بررسی قرار گرفته 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 کمیته کند. این مسئله، یک مسئله‌ی تک‌محصولی - چندمرحله‌ی بی است که به صورت یک مدل برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح خطی^{۱۹} چندهدفه فرمول‌بندی شده است. توابع هدف در این مسئله شامل کمیته کردن هزینه‌ی کل شبکه‌ی تأمین (شامل هزینه‌های استفاده از هریک از اجزاء و هزینه‌های مربوط به خرید اقلام و حمل‌ونقل) و کمیته کردن 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 به دلیل دیرکرد در تحویل، مشکلات کیفیتی، ورشکستگی تأمین‌کننده)، ریسک عملیاتی تولیدکنندگان (میزان خسارت ناشی از عملکرد نامناسب تولیدکننده به دلیل 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 در دست 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. به همین ترتیب، با توجه به تعداد دفعاتی که مراکز توزیع به دلیل 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 کمیته 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] به عنوان 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 نظر گرفته شده است. نمادهای به کار رفته در مدل پیشنهادی مطابق جدول ۲ است.

جدول ۲. نمادهای به کارگرفته 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 توزیع‌کننده‌ی j
VCS_{sk}	هزینه‌ی خرید و حمل به ازای یک واحد از محصول، از تأمین‌کننده‌ی s به تولیدکننده‌ی 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 تولیدکننده‌ی k (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
$ND \min$	کمینه تعداد 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

سیس مقادیر $(z^\circ(\alpha))$ $K_{\tilde{G}}(\alpha)$ محاسبه، و در انتها تابع هدف مربوط به بیشترین مقدار $(z^\circ(\alpha))$ $K_{\tilde{G}}(\alpha)$ به عنوان 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 به ترتیب ۵، ۳ و ۳ و کمینه آنها به ترتیب ۴، ۲ و ۲ است.

مدل ارائه شده شامل چندین تابع هدف است که با در نظر گرفتن اهمیت هر یک 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 در نظر گرفته 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_1, a_2, a_3) موجود در تابع هدف از طریق رابطه‌ی $(a_1 + 2a_2 + a_3)$ به یک عدد غیر فازی تبدیل شود. سپس تمامی محدودیت‌هایی که در آنها اعداد فازی وجود دارد براساس رابطه‌ی ۲۷ به محدودیت‌هایی غیر فازی تبدیل شود. سپس مدل به‌ازای α ‌های مختلف حل شود. برای مثال جواب بهینه‌ی حاصل از حل مدل برای $\alpha = 0.4$ به صورت زیر است:

$$\begin{array}{lll} z_{r_1}, z_{r_2}, z_{r_3} = 1 & p_{11}, p_{12}, p_{13} = 1 & o_{r_1}, o_{r_2}, o_{d_1}, o_{d_2} = 1 \\ x_{r_{11}} = 158^\circ & y_{12} = 516^\circ & q_{r_{11}} = 398^\circ \\ x_{r_{12}} = 398^\circ & y_{r_{12}} = 502^\circ & q_{r_{12}} = 118^\circ \\ x_{d_1} = 240^\circ & & q_{r_{13}} = 279^\circ \\ x_{d_2} = 262^\circ & & q_{r_{21}} = 272^\circ \\ x_{r_{22}} = 293^\circ & & q_{r_{22}} = 35^\circ \end{array} \quad (30)$$

رابطه‌ی ۳۰ نشان می‌دهد که در این سطح از عملی بودن محدودیت‌ها ($\alpha = 0.4$) 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 α ‌های مختلف در جدول ۱۴ ارائه شده است.

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

$$\mu_{\tilde{G}}(z) = \begin{cases} 1 & \text{if } z \leq 15847632 \\ \frac{20620160 - z}{20620160 - 15847632} & 15847632 \leq z \leq 20620160 \\ 0 & \text{if } z \geq 20620160 \end{cases} \quad (31)$$

(رابطه‌ی ۱۶). رابطه‌های ۱۷ تا ۱۹ محدودیت ظرفیت تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و مراکز توزیع را لحاظ می‌کند. محدودیت‌های ذکر شده 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 به صورت اعداد فازی در نظر گرفته شده، استفاده از روشی برای حل مدل با پارامترهای فازی ضرورت می‌یابد. بدین منظور از روش ارائه شده توسط جیمز و همکاران^[۲۱] برای تبدیل مسئله به مسئله‌ی با پارامترهای غیرفازی استفاده شده است. مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی با پارامترهای فازی ۲۴ را در نظر بگیرید:

$$\begin{aligned} \min \quad & z = \tilde{c}^t x \\ \text{s.t.} \quad & x \in N(\tilde{A}, \tilde{b}) = \{x \in R^n \mid \tilde{a}_i x \geq \tilde{b}_i, \quad i = 1, \dots, m, \quad x \geq 0\} \end{aligned} \quad (24)$$

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

$$\begin{aligned} \min \quad & EV(\tilde{c})x \\ \text{s.t.} \quad & x \in N_\alpha(\tilde{A}, \tilde{b}) = \{x \in R^n \mid \tilde{a}_i x \geq \tilde{b}_i, \quad i = 1, \dots, m, \quad x \geq 0\} \end{aligned} \quad (25)$$

که در آن برای اعداد فازی مثلثی $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$ خواهیم داشت:

$$EV(\tilde{a}) = \frac{1}{3}(a_1 + 2a_2 + a_3) \quad (26)$$

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

$$[(1 - \alpha)E_{\tilde{a}_i}^{a_i} + \alpha E_{\tilde{a}_i}^{b_i}]x \geq \alpha E_{\tilde{b}_i}^{b_i} + (1 - \alpha)E_{\tilde{b}_i}^{a_i} \quad (27)$$

که در آن $E_{\tilde{a}_i}^{a_i} = \frac{1}{3}(a_1 + a_2)$ ، $E_{\tilde{a}_i}^{b_i} = \frac{1}{3}(a_2 + a_3)$ است و این بدان معناست که محدودیت مورد نظر با درجه‌ی α شدنی است. پس از حل مدل رابطه‌ی ۲۵ برای α ‌های 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 $(z^\circ(\alpha))$ می‌توان هدف را به صورت مجموعه‌ی فازی با تابع عضویت زیر (رابطه‌ی ۲۸) نمایش داد که در آن \underline{G} و \overline{G} به ترتیب کم‌ترین و بیشترین مقادیر تابع هدف به دست آمده از حل مدل برای α ‌های مختلف هستند:

$$\mu_{\tilde{G}}(z) = \begin{cases} 1 & \text{if } z \leq \underline{G} \\ \lambda \in [0, 1] & \underline{G} \leq z \leq \overline{G} \\ 0 & \text{if } z \geq \overline{G} \end{cases} \quad (28)$$

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

$$K_{\tilde{G}}(z^\circ(\alpha)) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} \mu_{z^\circ(\alpha)}(z) \cdot \mu_{\tilde{G}}(z) dz}{\int_{-\infty}^{+\infty} \mu_{z^\circ(\alpha)}(z) dz} \quad (29)$$

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

تولیدکننده	تأمین‌کننده				
	۱	۲	۳	۴	۵
۱	(۴.۶.۶)	(۲.۴.۴)	(۳.۴.۵)	(۴.۵.۶)	(۳.۴.۵)
۲	(۵.۶.۷)	(۴.۵.۶)	(۹.۱۰.۱۱)	(۳.۵.۶)	(۳.۴.۵)
۳	(۴.۵.۶)	(۴.۵.۷)	(۴.۶.۷)	(۵.۶.۷)	(۶.۷.۸)
۴	(۴.۵.۶)	(۳.۴.۵)	(۴.۵.۷)	(۶.۸.۹)	(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 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 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 ۱۰. میزان «ریسک عملیاتی تولیدکنندگان» در سطح اطمینان ۹۵٪.

ریسک عملیاتی	تولیدکننده			
	۱	۲	۳	۴
۱۵۱۸	۱۴۳۱	۱۶۱۸	۱۵۲۲	۱۵۲۲

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

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

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

تأمین‌کننده	هزینه					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
(۵.۵.۵)	(۳.۴.۴)	(۳.۴.۵)	(۵.۵.۶)	(۴.۴.۵)	(۴.۵.۶)	(۴.۵.۶)

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

تولیدکننده	هزینه			
	۱	۲	۳	۴
(۴.۴.۵)	(۳.۴.۵)	(۳.۳.۴)	(۴.۵.۷)	(۴.۵.۷)

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

توزیع‌کننده	هزینه			
	۱	۲	۳	۴
(۳.۴.۵)	(۵.۵.۵)	(۳.۳.۴)	(۴.۵.۸)	(۴.۵.۸)

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

تأمین‌کننده	تولیدکننده	توزیع‌کننده	تقاضای تولیدکننده	مشتری
(۴۸.۵۰.۵۲)	(۶۹.۷۰.۷۲)	(۵۶.۵۷.۵۸)	(۳۸.۴۰.۴۲)	(۲۴.۲۸.۳۰)
(۵۲.۵۵.۵۹)	(۶۵.۶۶.۶۷)	(۵۰.۵۲.۵۲)	(۲۵.۳۰.۳۴)	(۳۸.۴۰.۴۲)
(۴۹.۵۲.۵۳)	(۶۴.۶۵.۶۷)	(۴۸.۵۰.۵۲)	(۳۴.۳۶.۳۷)	(۳۶.۳۸.۳۹)
(۴۴.۴۷.۵۱)	(۶۰.۶۲.۶۳)	(۳۸.۴۲.۴۴)	(۳۸.۴۰.۴۲)	(۲۷.۲۸.۲۹)
(۴۵.۵۰.۵۴)				
(۴۲.۴۵.۵۰)				

جدول ۱۴. مقادیر تابع هدف به‌ازای α های مختلف.

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

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 $\alpha = ۰٫۴$ -- یعنی مقادیر رابطه‌ی ۳۰ -- 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 تامین با در نظر گرفتن فاکتورهای ریسک مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور 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 تامین ارائه شد و از نظریه‌ی اعداد فازی برای مدل‌سازی عدم قطعیت موجود در پارامترهای مدل پیشنهادی استفاده شد. در این مدل، ریسک عملیاتی تامین‌کنندگان، ریسک عملیاتی و مالی تولیدکنندگان، و ریسک وقوع حوادث برای مراکز توزیع به‌عنوان ریسک‌های موجود در سطوح مختلف شبکه‌ی تامین در نظر گرفته 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 ارائه شد 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 ارائه شد. براساس این مدل تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان و مراکز توزیع و میزان جریان مواد و کالای میان آنها به‌گونه‌ی انتخاب شده‌اند که میزان ریسک و هزینه‌های شبکه‌ی کمینه شود.

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

$$\begin{aligned} K_{\tilde{G}}(z^*(0.4)) &= 0.99 & K_{\tilde{G}}(z^*(0.5)) &= 0.29 \\ K_{\tilde{G}}(z^*(0.6)) &= 0.27 & K_{\tilde{G}}(z^*(0.8)) &= 0.22 \\ K_{\tilde{G}}(z^*(1)) &= 0.17 \end{aligned} \quad (32)$$

و بر این اساس خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{D}}(x^*(\alpha)) &= \alpha \cdot K_{\tilde{G}}(z^*(\alpha)) \\ \mu_{\tilde{D}}(x^*(0.4)) &= 0.4 \times 0.99 = 0.396 \\ \mu_{\tilde{D}}(x^*(0.5)) &= 0.5 \times 0.29 = 0.145 \\ \mu_{\tilde{D}}(x^*(0.6)) &= 0.6 \times 0.27 = 0.162 \\ \mu_{\tilde{D}}(x^*(0.8)) &= 0.8 \times 0.22 = 0.176 \\ \mu_{\tilde{D}}(x^*(1)) &= 1 \times 0.17 = 0.17 \end{aligned} \quad (33)$$

پانوشته‌ها

- royal society
- failure mode, effects and criticality analysis
- timed petri nets
- chance constrained programming (CCP)
- data envelopment analysis (DEA)
- disruption
- multi-agent based decision support system
- vulnerability
- multi-objective stochastic programming approach
- Longin et al
- Frechet distribution
- Gumbel distribution
- Weibull distribution
- maximum likelihood
- probability weighted moments
- biase
- Kolmogorov-Smirnov
- Towers Perrin
- mixed-integer linear problem (MILP)

منابع (References)

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

- 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).