مدیریت صنعتی
دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران
دورهٔ ۹، شمارهٔ ۱
بهار ۱۳۹۶
صص. ۲۱۶- ۱۸۹

Journal of Industrial Management
DOI: 10.22059/imj.2017.208998.1007078

طراحی شبکهٔ تأمین منعطف در یک زنجیرهٔ تأمین دوسطحی و آنالیز ریسک با استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی (مطالعهٔ موردی: از شبکهٔ تأمین پلی استایرن معمولی)

علی محقر[۱]، نیما گروسی مختارزاده[۲]، محمد مدرس یزدی[۳]، معین حاجی مقصودی[۴]

چکیده: این مقاله به طراحی شبکهٔ تأمین منعطف چند دوره‌ای در یک زنجیرهٔ تأمین دوسطحی می‌پردازد که در آن یک مادهٔ اولیه اصلی باید از چند تأمین‌کننده تهیه شده و محصولات مختلف در چندین سایت تولیدی برای مشتریان تولید شود. مسئله با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای با در نظر گرفتن تقاضاهای تصادفی مشتریان و قیمت‌های تصادفی تأمین‌کنندگان مدل‌سازی شده است. بر خلاف مطالعات گذشته، ریسک‌های اختلالات تأمین، استراتژی‌های کاهشی و برنامه‌های عملیاتی احتمالی مقابله با ریسک‌ها برای افزایش انعطاف‌پذیری شبکهٔ تأمین، همزمان با برنامه‌ریزی تولید محصولات در سایت‌های تولیدی به‌منظور نزدیک‌تر شدن مدل به واقعیت، مد نظر قرار گرفته‌اند. طراحی شبکهٔ تأمین از دید تصمیم‌گیرنده ریسک خنثی و تصمیم‌گیرنده ریسک‌گریز لحاظ شده‌اند. به‌دلیل تشریح کاربرد دیدگاه ارائه شده، نتایج محاسبات و اجرای مدل در یک نمونهٔ واقعی نشان داده شده است. در نهایت به‌منظور تشریح تأثیر تغییرات در پارامترهای هزینه، روی نتایج مدل آنالیزهای حساسیت انجام گرفته است.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای، در نظر گرفتن ریسک، شبکهٔ تأمین منعطف، کاهش سناریو.

۱. استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲. استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳. استاد گروه صنایع، دانشکدهٔ صنایع دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
۴. دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشکدهٔ مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۱۷
تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۰۱
نویسندهٔ مسئول مقاله: معین حاجی مقصودی
E-mail: m.hajimaghsoudi@ut.ac.ir

مقدمه

بازار جهانی و رقابتی کنونی، شرکت‌ها را به برون‌سپاری بعضی از محصولات و خدمات وادار کرده است. برون‌سپاری می‌تواند در کاهش هزینه‌ها به شرکت کمک کرده و موجب شود شرکت‌ها با تمرکز بر مزیت‌های رقابتی خود، توان رقابتیشان را افزایش دهند (اسکوانهر، مودی و بنتون، ۲۰۱۲). با افزایش برون‌سپاری، مدیریت ریسک در حوزهٔ تأمین به یک چالش جدی تبدیل شده است. بر اساس گزارش‌های رسیده، هزینهٔ خرید مواد بیش از ۶۰ درصد از فروش کل را تشکیل می‌دهد (کرجیوسلد و ریتزمن، ۱۹۹۶). هزینه‌های خرید برای صنایع اتومبیل‌سازی و صنایع با تکنولوژی بالا ممکن است به بیش از ۷۰ تا ۸۰ درصد از کل درآمد نیز برسد (وبر، کارنت و بنتن، ۱۹۹۱). همچنین ادعا شده است که هزینهٔ خریدهای کالا و خدمات ۷۰ درصد از کل هزینه‌های تولید را به خود اختصاص داده است (قدسی‌پور و ابرین، ۱۹۹۸). محققان با اولویت‌بندی ریسک‌های مختلف نشان دادند، اولویت ریسک محدودیت‌های موجود تأمین کالا و تجهیزات، از همه بیشتر است (دری و حمزه‌ای، ۱۳۸۹).

در حالی که ساختار شبکه‌های تأمین امروزی با سرعت در حال پیچیده‌شدن هستند، مدیریت ریسک‌ها و نامعینی‌های ذاتی هر شبکهٔ تأمین به میزان زیادی در کانون توجه قرار گرفته است (رویز، محمودی و زنگ، ۲۰۱۳). بر اساس نظر تانگ (۲۰۰۶)، طراحی شبکهٔ تأمین[1] برای مدیریت ریسک زنجیرهٔ تأمین بسیار مهم است و فرایند انتخاب تأمین‌کنندگان[2]، چگونگی تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان[3] و قرارداد تأمین[4]، سه برنامهٔ راهبردی برای مواجه‌شدن با ریسک‌های سمت تأمین است. انتخاب تأمین‌کننده یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های واحد تدارکات هر سازمان است. در فضای رقابت تجاری حال حاضر، شرکت‌ها بر ادغام زنجیره‌های تأمین خود تمرکز کرده‌اند تا از این طریق هزینه‌ها را کاهش دهند، تأخیرهای تولید را کوتاه‌تر کنند، کیفیت را افزایش دهند و رابطه با تأمین‌کنندگان را بهبود بخشند (مرتیز و پیبرنیک، ۲۰۰۸).

بر اساس دسته‌بندی نرمن و لیندرو (۲۰۰۴)، انواع ریسک‌های مطرح شده در مقالات مدیریت ریسک را می‌توان به سه دستهٔ تصادفات عملیاتی[5]، بحران‌های عملیاتی[6] و نامعینی‌های استراتژیک[7] دسته‌بندی کرد. تصادفات عملیاتی مانند آتش‌سوزی‌ها، تصادفات وسایل حمل‌ونقل،

---

1. Supply network design
2. Supplier selection process
3. Supplier order allocation
4. Supply contract
5. Operational accidents
6. Operational catastrophes
7. Strategic uncertainty

از کار افتادن ماشین‌آلات، تحسن‌های کارگری و... نامعین‌هایی هستند که فرایندهای عملیاتی زنجیرهٔ تأمین یا فرایندهای پشتیبانی مربوط به تأمین در زنجیرهٔ تأمین را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بسیاری از شرکت‌ها هر روز با تصادفات عملیاتی روبه‌رو می‌شوند، اما میزان تکرار آنها به کیفیت مدیریت ریسک‌های زنجیرهٔ تأمین برمی‌گردد. بحران‌های عملیاتی، ریسک‌هایی هستند که به ندرت اتفاق می‌افتند و پیش‌بینی رخداد آنها نیز سخت است، اما اگر رخ دهند به‌شدت بر زنجیرهٔ تأمین تأثیر می‌گذارند، مانند بلایای طبیعی، ناپایداری‌های سیاسی، بحران‌های اقتصادی و حملات تروریستی. در نهایت، نامعینی‌های استراتژیک، ریسک‌هایی هستند که به سختی می‌توان از آنها نشانی داد، اثر آنها بر شرکت در سطح عملیاتی نیست، بلکه در سطح استراتژیک تأثیرگذارند. نامعینی‌های تقاضا، افزایش رقابت، فشار بازار، عوض شدن تکنولوژی‌ها و... از این دست ریسک‌ها محسوب می‌شوند.

بر اساس آنچه در بالا بیان شد، می‌توان ریسک‌های تأمین را در دو گروه ریسک‌های اختلال و ریسک‌های استراتژیک دسته‌بندی کرد. ریسک‌های اختلال تأمین، ریسک‌هایی هستند که در فرایندهای تأمین وقفه ایجاد می‌کنند و آنها را نیز به دو دسته طبقه‌بندی می‌شوند؛ دستهٔ اول شامل ریسک‌هایی است که به‌طور مستقیم فرایندهای عملیاتی تأمین‌کننده را تحت تأثیر قرار می‌دهند، مانند آتش‌سوزی، از کار افتادن ماشین‌آلات، تحسن‌های کارگری، بلایای طبیعی و دستهٔ دوم ریسک‌هایی است که به‌صورت غیرمستقیم موجب بروز اختلال در تأمین از سوی تأمین‌کننده می‌شوند. تصادفات وسایل حمل‌ونقل هنگام حمل مواد از تأمین‌کنندگان به مراکز تولیدی، ناپایداری‌های سیاسی، بحران‌های اقتصادی و حملات تروریستی از این دست هستند. شدت تأثیر هر یک از ریسک‌های بیان شده، متفاوت است و مقدار ظرفیت در دسترس هر تأمین‌کننده را به میزان متفاوتی تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین باید در نظر داشت که احتمال بروز انواع ریسک‌های اختلال در زمان‌های مختلف، متفاوت است. برای نمونه، احتمال اینکه فرایندهای عملیاتی تأمین‌کننده‌ای در فصل بارندگی منطقهٔ جغرافیایی که تأمین‌کننده در آن واقع است، به‌دلیل بروز سیل دچار اختلال شود، بیشتر است. بنابراین ظرفیت در دسترس تأمین‌کنندگان به‌دلیل ریسک‌های اختلال بیان شده در طول دورهٔ برنامه‌ریزی، متفاوت است. توسعهٔ دیدگاه‌هایی برای تشخیص، ارزیابی، تحلیل و برنامه‌های عملیاتی احتمالی، برای برخورد کاراتر با اختلالات زنجیرهٔ تأمین، توجه زیادی را به خود جلب کرده است (نیگر، روتارو و چوریلاو، ۲۰۰۹). ریسک‌های استراتژیک تأمین مواردی هستند که تأثیر آنها بر شرکت‌ها در سطح عملیاتی نبوده و بیشتر به نوسانات عواملی مانند تقاضای مصرف‌کنندگان مراکز تولیدی یا قیمت تأمین‌کنندگان در طول دورهٔ برنامه‌ریزی برمی‌گردد.

در این مقاله به‌دنبال ارائهٔ یک مدل ریاضی کلی برای طراحی و برنامه‌ریزی یک شبکهٔ تأمین منعطف چند دوره‌ای[1] (انتخاب تأمین‌کنندگان، تخصیص سفارش به آنها و نحوهٔ قرارداد با تأمین‌کنندگان اختیار) در یک زنجیرهٔ تأمین دو سطحی، شامل چند تولیدکننده و چند تأمین‌کننده تحت تقاضاهای تصادفی مشتریان و قیمت‌های تصادفی تأمین‌کنندگان هستیم که بر خلاف مطالعات گذشته، همزمان ریسک‌های اختلالات تأمین، استراتژی‌های کاهشی و برنامه‌های عملیاتی احتمالی برای مقابله با ریسک‌ها نیز به‌منظور افزایش انعطاف‌پذیری شبکهٔ تأمین در نظر گرفته شود. همچنین برای نزدیک‌تر شدن مدل به واقعیت، همزمان مسئلهٔ چگونگی برنامه‌ریزی تولید محصولات در سایت‌های تولیدی نیز مد نظر قرار گرفته است. بر اساس جست‌وجوی انجام‌شده در ادبیات موجود، مقالهٔ پیش رو اولین مطالعه‌ای است که این‌گونه به مسئلهٔ طراحی شبکهٔ تأمین می‌پردازد و مدل جامعی برای طراحی و برنامه‌ریزی یک شبکهٔ تأمین منعطف چند دوره‌ای (انتخاب تأمین‌کنندگان، تخصیص سفارش به آنها و نحوهٔ قرارداد با تأمین‌کنندگان اختیار) با در نظر گرفتن همزمان حوزه‌های زیر ارائه می‌دهد:

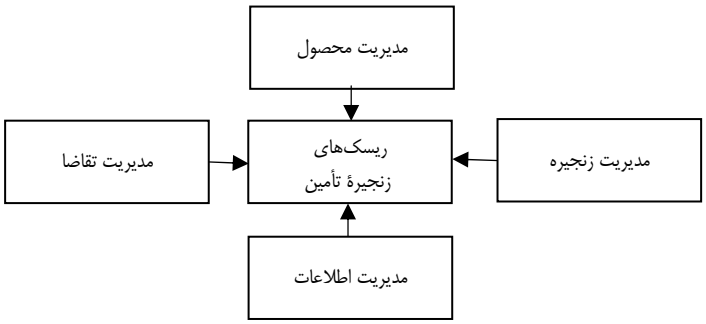
- نوسانات قیمت و تقاضا به‌عنوان مهم‌ترین ریسک‌های استراتژیک؛
- بروز ریسک‌های اختلال در تأمین؛
- تقویت برخی تأمین‌کنندگان و رزرو مواد از تعدادی تأمین‌کنندهٔ اختیار به‌عنوان استراتژی‌های کاهشی و برنامه‌های عملیاتی؛
- برنامه‌ریزی تولید محصولات در سایت‌های تولیدی.

پیشینهٔ پژوهش

تانگ (۲۰۰۶) برای کاهش اثر ریسک‌های زنجیرهٔ تأمین مطابق با شکل ۱، مدیریت بر چهار حوزه (مدیریت تأمین، مدیریت تقاضا، مدیریت محصول و مدیریت اطلاعات) را پیشنهاد می‌دهد که یک شرکت می‌تواند به میزان زیادی به‌وسیلهٔ سازوکارهای همکاری و هماهنگی، آنها را مدیریت کند. او نخستین گام در مدیریت ریسک را همکاری و هماهنگی با شرکای بالادستی برای تأمین کارای مواد یا همان مدیریت تأمین می‌داند و مدیریت تأمین را به این زیربخش‌ها دسته‌بندی می‌کند: ۱. طراحی شبکهٔ تأمین، ۲. ارتباطات تأمین‌کنندگان[2]، ۳. فرایند انتخاب تأمین‌کنندگان، ۴. اختصاص سفارش به تأمین‌کنندگان، ۵. قرارداد تأمین.

---

1. Multi Period Resilient Supply Network Design
2. Supplier relationship



شکل ۱. دیدگاه تانگ (۲۰۰۶) دربارهٔ حوزه‌های مدیریت ریسک

در محیط کسب‌وکار امروز، کسی نمی‌تواند ریسک‌های اختلال را در نظر نگیرد. در دنیای واقعی، اختلالات و حوادث فاجعه‌بار اتفاق می‌افتند و بهترین برنامه‌های کسب‌وکار آنهایی هستند که این اتفاقات ناگزیر را پیش‌بینی کرده و برای آنها آماده باشند (هندفیلد و امسیکرمک، ۲۰۰۸). در ادامه به بیان استراتژی‌های کاهشی و عملیاتی احتمالی که برای کاهش ریسک‌های اختلال وجود دارد، پرداخته شده است.

یو، زنگ و زاوو (۲۰۰۹) به بررسی حالت‌های منبع‌یابی تکی و چندگانه با در نظر گرفتن حساس بودن تقاضا به قیمت و افزایش تقاضا هنگام اختلال در تأمین، پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که منبع‌یابی تکی یا چندگانه به میزان خیلی زیادی به اندازهٔ احتمال اختلال بستگی دارد.

تقویت[1] تأمین‌کنندگان در مقابل اختلالات اساسی، یکی دیگر از استراتژی‌های پیشگیری است که مدیران زنجیرهٔ تأمین به تازگی آن را برای کاهش اثرات ریسک‌های اختلال به‌کار می‌برند. برای مثال، بعد از سیل عظیم سال ۲۰۱۱ در تایلند، مدیران ارشد کارخانه‌ها در منطقهٔ صنعتی ناواناکرن، جایی که بیش از ۲۲۰ کارخانهٔ تأمین‌کنندگان قطعات کامپیوتری و الکترونیکی واقع شده است، تصمیم گرفتند که یک دیوار خیلی بزرگ در اطراف آن منطقهٔ صنعتی و همچنین یکسری حائل‌های آلومینیومی در مقابل ورودی‌های دریا بنا کنند (نیویرک تایمز، ۲۰۱۲). ساویک (۲۰۱۳) یک مسئلهٔ انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش با ریسک اختلال را با در نظر گرفتن استراتژی تقویت تأمین‌کنندگان بررسی می‌کند. یکی از مهم‌ترین فرضیه‌هایی که او در نظر می‌گیرد این است که ظرفیت تأمین‌کنندگان تقویت شده بعد از هر حادثهٔ اختلال بدون تغییر می‌ماند. ترابی، باقرسد و منصوری (۲۰۱۵)، در ادامهٔ کارِ ساویک (۲۰۱۳)، میزان

1. Fortification

کاهش اثر اختلال با استفاده از تقویت تأمین‌کنندگان را برحسب نوع اختلال و سطحی که تقویت انجام می‌شود، متفاوت فرض کردند.

در مرور ادبیات مربوط به مدیریت اختلالات، تعداد محدودی از مطالعات بر داشتن ذخیره‌های اضطراری از مواد در جاهای مختلف برای زمان بروز نامعینی‌ها تمرکز داشته‌اند و آن را یکی دیگر از استراتژی‌های پیشگیری مطرح کرده‌اند (برای نمونه رائلز و ترن کیست، ۲۰۱۰ و نویان، ۲۰۱۲). همچنین سلسبیل، شفیعا، پیشوایی و شهانقی (۱۳۹۴) با در نظر گرفتن ریسک اختلال مربوط به تحریم، فرض کرده‌اند که بتوان در محل تولیدکننده، ذخیره‌ای از مواد و محصولات را نگهداری کرد.

جدول ۱. نگاه کلی به ادبیات بررسی شده در حوزهٔ طراحی شبکهٔ تأمین

مقالات	ریسک‌های استراتژیک		ریسک‌های اختلال	برنامه‌های عملیاتی	در نظر گرفتن ریسک	چند دوره‌ای	تخصیص سفارش	برنامه‌ریزی تولید
	قیمت	تقاضا						
حیدرزاده و همکاران، ۲۰۱۵								
آیهان و همکاران، ۲۰۱۵	✓						✓	
پژهانی و همکاران، ۲۰۱۵							✓	
کاردناس بارون و همکاران، ۲۰۱۵						✓	✓	✓
ترابی و همکاران، ۲۰۱۵	✓	✓	✓	✓			✓	
مقدم، ۲۰۱۵	✓		✓	✓			✓	✓
ایندرفورس، ۲۰۱۱	✓	✓				✓		✓
کیوانلو، ۲۰۱۳	✓	✓			✓	✓		✓
رویز تورس و همکاران، ۲۰۱۳			✓	✓			✓	
مینا و همکاران، ۲۰۱۱			✓					
ساویک، ۲۰۱۱			✓	✓	✓		✓	
ساویک، ۲۰۱۳			✓	✓	✓		✓	
ایندرفورس، ۲۰۱۳	✓					✓		✓
هالدار، ۲۰۱۴			✓					
مطالعهٔ حاضر	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

قرارداد با تأمین‌کنندگان پشتیبان، یکی دیگر از دیدگاه‌هایی است که برای کاهش ریسک اختلال تأمین وجود دارد. هو، زنگ و زائو (۲۰۱۰) تأمین یک خریدار را در نظر می‌گیرند که دو گزینه پیش رو دارد: تأمین‌کننده‌ای ارزان‌تر اما غیرقابل اطمینان[1] (تأمین‌کنندهٔ اصلی) و تأمین‌کنندهٔ دیگری که کاملاً قابل اطمینان و پاسخگو بوده، اما گران‌تر است (تأمین‌کنندهٔ پشتیبان). آنها برای زمانی که تأمین‌کنندهٔ اصلی اختلالات را تجربه می‌کند، قرارداد برگشت از خرید[2] را بین خریدار و تأمین‌کنندهٔ پشتیبان مطالعه کردند.

مطالعات مختلف از زوایای مختلفی به بررسی مدیریت ریسک تأمین پرداخته‌اند. در جدول ۱ خلاصه ای از ادبیات بررسی شده، شکاف موجود و محدودهٔ مقالهٔ حاضر، آمده است.

روش‌شناسی پژوهش

در این بخش ابتدا مسئلهٔ مورد بررسی و فرضیه‌ها بیان می‌شود، سپس به توضیح چگونگی مدل‌سازی مسئله پرداخته خواهد شد.

تعریف مسئله

یک گروه تولیدی را در نظر بگیرید که دارای چندین سایت تولید در نقاط مختلف است. این گروه چند نوع محصول تولید می‌کند که همهٔ سایت‌های تولید توان تولید آنها را دارند و هر سایت تولید باید پاسخگوی مقادیر غیر قطعی تقاضا برای این محصولات باشد. جابه‌جایی محصولات بین سایت‌های تولید ممکن نیست. یک مادهٔ اولیهٔ مشترک، بخش عمده‌ای از مواد اولیهٔ مورد نیاز چند نوع محصول را تولید می‌کند که همهٔ سایت‌های تولید، توان تولید آنها را دارند و هر سایت تولید باید پاسخگوی مقادیر غیر قطعی تقاضا برای این محصولات باشد. برای تأمین این مادهٔ اولیه، تأمین‌کنندگان مختلفی در سراسر دنیا وجود دارد. بر اساس آنچه سونمز (۲۰۰۶) بیان کرده است، انتخاب تأمین‌کننده عموماً در دو گام صورت می‌گیرد: در گام اول نوعی پیش ارزیابی، از تأمین‌کنندگان صورت می‌گیرد و یکسری تأمین‌کننده با در نظر گرفتن کمترین انتظارات خریدار از کیفیت، نحوهٔ پرداخت، زمان بین سفارش تا تحویل و... غربال می‌شوند. گام دوم با انتخاب نهایی تأمین‌کنندگان درگیر است. این مقاله نیز بر گام دوم تمرکز می‌کند؛ یعنی فرض شده است که تعدادی تأمین‌کنندهٔ با پتانسیل از طریق معیارهای مختلف غربال شده‌اند که آنها را دستهٔ تأمین‌کنندگان عمومی[3] می‌نامیم.

---

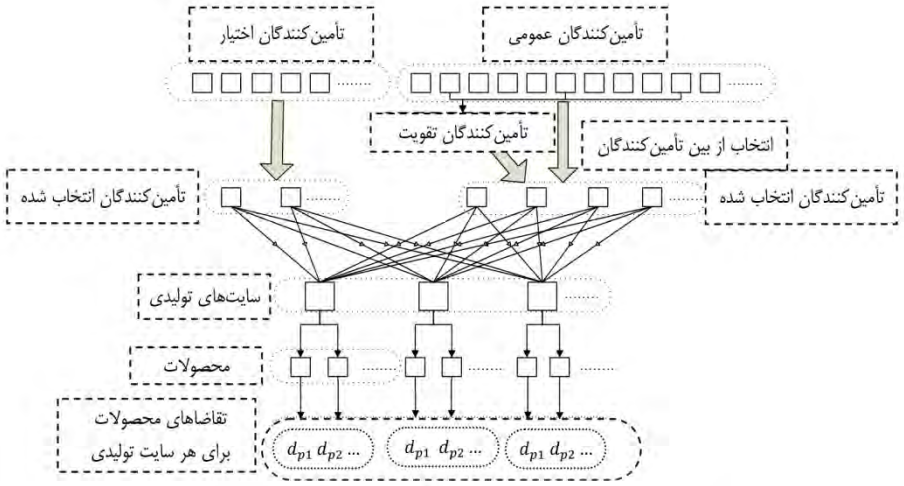
1. Unreliable
2. Buy-back Contract
3. General Suppliers

دستهٔ دوم از تأمین‌کنندگان نیز، تأمین‌کنندگان تقویت[1] نامیده می‌شود. تأمین‌کنندگان تقویت زیرمجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان عمومی هستند که می‌توان آنها را با صرف هزینهٔ اولیه و انجام یکسری اقدامات پیشگیرانه و اصلاحی مانند مشاوره، تقویت ساختمان‌ها در برابر زلزله، خرید دیزل ژنراتور و... از لحاظ ظرفیت تولید تقویت کرد و از سطح مینیممی از تأمین مواد، حتی در صورت بروز اختلال مطمئن بود. دستهٔ سوم، تأمین‌کنندگان اختیار[2] هستند که قابلیت اطمینان بالایی دارند، اما به‌دلیل اعتبار و فروش زیاد آنها، در صورتی که از قبل با آنها قراردادی منعقد نشود، در مواقع نیاز به احتمال زیاد ظرفیت خالی نخواهند داشت، بنابراین باید با آنها قراردادی منعقد شود. در صورتی که با آنها قرارداد عمده فروشی بلندمدت عقد شود، باید مبلغ و مقدار خرید را با آنها ثابت کرد که با توجه به عدم قطعیتی که در قیمت و تقاضا وجود دارد، می‌تواند هنگام کاهش جهانی قیمت آن مادهٔ اولیه یا کاهش تقاضای محصولات تمام کارخانجات تولیدی، موجب ضرر و زیان زنجیرهٔ تأمین شود. بنابراین عقد قرارداد اختیار خرید با تأمین‌کنندگان اختیار (دستهٔ سوم) و رزرو بخشی از ظرفیت آنها، هم ریسک تأمین و هم ریسک نوسان قیمت و تقاضا را کاهش می‌دهد. شایان ذکر است برای نزدیک‌تر شدن مدل به واقعیت، قیمت‌های رزرو از تأمین‌کنندگان اختیار را با توجه به سطح رزرو از آنها در مدل متفاوت در نظر گرفته‌ایم. همچنین با توجه به وابستگی زمانی پارامترهای مسئله، چند دورهٔ عملیاتی در افق برنامه‌ریزی در نظر گرفته شده است.

در این مقاله با تصمیمات چند مرحله‌ای مواجه‌ایم: متغیرهای تصمیم عملیاتی و اول دوره. انتخاب از بین تأمین‌کنندگان عمومی (دستهٔ اول)، تصمیم‌گیری برای تقویت تأمین‌کنندگان تقویت (دستهٔ دوم)، انتخاب از بین تأمین‌کنندگان اختیار (دستهٔ سوم) و میزان خرید اختیار از آنها برای هر دوره به‌عنوان تصمیمات اول دوره، باید ابتدای آغاز دورهٔ برنامه‌ریزی مشخص شود. تصمیمات عملیاتی شامل مقدار اعمال اختیار خرید برای هر کارخانه، خرید از تأمین‌کنندگان برای هر کارخانه و میزان تولید از هر محصول در هر کارخانه، در مرحلهٔ دوم گرفته می‌شود. هزینه‌های مربوط به تصمیمات اول دوره شامل هزینه‌های انتخاب تأمین‌کنندگان عمومی، رزرو از تأمین‌کنندگان اختیار و تقویت تأمین‌کنندگان تقویت که در همان ابتدای دوره اتفاق می‌افتد، هزینه‌های مرحلهٔ اول هستند و هزینه‌های مرحلهٔ دوم، ارزش انتظاری از هزینه‌هایی است که به تصمیمات عملیاتی طی دوره وابسته‌اند.

---

1. Fortification Suppliers
2. Option Suppliers



شکل ۲. ساختار کلی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین مورد مطالعه

شکل ۲ ساختار مسئله را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۲ مشخص است، جابه‌جایی محصولات بین تولیدکنندگان مجاز نیست و هر تولیدکننده باید پاسخگوی تقاضای محصولات خود باشد. بقیهٔ مفروضات اصلی مسئله به شرح زیر است:

- چند دورهٔ تاکتیکی در افق برنامه‌ریزی برای وابستگی پارامترهای مسئله به زمان، در نظر گرفته شده است.
- در هر دوره برای تقاضاهای برآورد نشدهٔ مشتریان، هزینهٔ کمبود در نظر گرفته شده است و میزان کمبود به دورهٔ بعدی منتقل می‌شود.
- میزان تقاضای محصولات برای هر یک از تولیدکنندگان در هر دوره تصادفی است.
- قیمت مادهٔ اولیهٔ تأمین‌کنندگان عمومی در هر دوره تصادفی است.
- ظرفیت در دسترس تأمین‌کنندگان عمومی در اثر بروز ریسک‌های اختلال در هر دوره تصادفی است.
- شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین مطالعه شده از دو سطح شامل تأمین‌کنندگان و سایت‌های تولید، شکل گرفته است.
- تابع هدف برنامه‌ریزی تصادفی از جنس کمینه‌سازی کل هزینه‌ها (شامل هزینهٔ مرحله‌های اول و دوم) است.

مدل‌سازی پارامترهای تصادفی

عدم قطعیت در ادبیات برون‌سپاری، عمدتاً به‌صورت مجموعهٔ فضای نمونه[1] یا به‌صورت توزیع احتمال پیوسته مدل‌سازی شده است. امکان استفاده از توزیع‌های پیوسته در برنامه‌ریزی‌های تصادفی دقیق وجود ندارد. این برنامه‌های بهینه‌سازی به توزیع‌های گسسته با تعداد محدودی حالت نیاز دارند، از این رو باید سازوکاری اتخاذ شود که توزیع احتمال پیوسته، به مجموعهٔ گسسته‌ای از حالات تبدیل شود. این فرایند سناریوسازی[2] نام دارد. در واقع، در مدل‌سازی پارامترهای نامعین، ابتدا تابع توزیع پارامتر تصادفی شناسایی شده، سپس بر اساس آن سناریوسازی می‌شود. در این مقاله با استفاده از مدل اتورگرسیو اصلاح شده که برای نخستین‌بار توسط سدهی (۲۰۰۵) ارائه شد، به مدل‌سازی تقاضای تصادفی پرداخته شده و فرض می‌شود که قیمت کالای مورد نیاز خریدار از فرایند تصادفی شناخته شدهٔ براونی هندسی با رشد[3]، پیروی می‌کند. همچنین فرض شده است میزان ظرفیت در دسترس هر تأمین‌کننده بعد از بروز اختلال یک تابع توزیع یکنواخت U(۰,۰/۹) دارد[4].

برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای

مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای توسعه داده شده برای این مسئله، مثال خاصی از مسائل برنامه‌ریزی تصادفی است که می‌تواند در شکل عمومی زیر نشان داده شود[5]:

رابطهٔ ۱) $\underset{x\in X}{Min}\, c^T x + E\big(Q(x)\big)$

در رابطهٔ ۱، x برداری از متغیرهای تصمیم مرحلهٔ اول، X دسته‌ای از تصمیمات ممکن و $Q(x)$ تابعی وابسته است. مقدار واقعی پارامترهای نامعین در مرحلهٔ دوم شناخته می‌شوند که تصمیمات بعدی (y) می‌توانند گرفته شوند. بنابراین $E\big(Q(x)\big)$ در مسئلهٔ برنامه‌ریزی تصادفی (رابطهٔ ۱) برابر است با $\sum_{s\in S}\pi^s \times Q\left(x,\zeta^s\right)$ که در آن:

$$Q\left(x,\zeta^s\right) = \underset{y^s}{Min}\{(q^s)^T y^s : w^s y^s = h^s - T^s x, y^s \geq 0\}$$

---

1. Data Set
2. Scenario Generation
3. Geometric Brownian Motion with Drift

۴. برای آشنایی بیشتر با نحوهٔ سناریوسازی، می‌توانید به مقالهٔ گاویندا و فتاحی (۲۰۱۵) مراجعه کنید.

۵. برای مطالعه بیشتر دربارهٔ برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای به بیرگ و لوواکس (۲۰۱۱) مراجعه کنید.

برنامه ریزی تصادفی دو مرحله‌ای ریسک‌گریز[1]

در مسائل مربوط به مدیریت تأمین در زنجیرهٔ تأمین تحت شرایط عدم اطمینان، سنجه‌های مختلف ریسک می‌توانند آزمون شوند. سنجهٔ ریسک زمانی می‌تواند در مدل برنامه‌ریزی تصادفی به‌کار برده شود که توابع توزیع پارامترهای نامعین شناخته شده باشند؛ به این معنا که احتمالات سناریوهای ممکن باید برای برنامه‌ریزی‌های تصادفی بر پایهٔ سناریو ریسک‌گریز تخمین زده شوند. در مدل برنامه‌ریزی تصادفی ما که شکل عمومی آن مانند رابطهٔ ۱ است، برای یک مقدار $x \in X$ داده شده، $Q\left(x,\zeta^{s}\right)$، $s \in S$ از محقق شدن مقدار تصادفی تابع برگشت $Q(x)$ به دست می‌آید، بنابراین مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای ریسک‌گریز با استفاده از یک معیار وزن داده شدهٔ میانگین ریسک می‌تواند به شکل زیر فرموله شود:

رابطهٔ ۲) $$\underset{x\in X}{Min}\, c^{T}x + E\big(Q(x)\big) + \lambda G\big(Q(x)\big)$$

در رابطهٔ ۲، گروه مشخصی از متغیرهای تصادفی به‌وسیلهٔ تابع G (تابع نگاشت ریسک)[2] به‌صورت دسته‌ای از اعداد حقیقی نگاشت می‌شود و λ یک فاکتور ریسک‌گریز است. به‌عنوان دیدگاه جایگزین دیگر، یک محدودیت ریسک مانند رابطهٔ ۳ می‌تواند به مسئلهٔ بهینه‌سازی اضافه شود (فابیان، ۲۰۱۳ و احمد، ۲۰۰۶):

رابطهٔ ۳) $$\underset{x\in X}{Min}\, c^{T}x + E\big(Q(x)\big)$$
$$s.t.\, G\big(Q(x)\big) \le \rho$$

در این رابطه ρ عدد ثابتی است.

سنجهٔ ریسک نیمهٔ انحراف از هدف

این سنجهٔ ریسک بسیار کاربردی است و در آن تصمیم‌گیرنده تمایل دارد یک هدف از بیشترین هزینه یا ضرر را برای خروجی‌های مسئله در هر سناریو تنظیم کند (اپن، مارتین و اسکراج، ۱۹۸۹). p امین نیمهٔ انحراف $Q(x)$ از یک هدف ثابت $(T_0 \in \mathbb{R})$ به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

رابطهٔ ۴) $$\left(E\left[(Q(x) - T_0)_{+}^{p}\right]\right)^{\frac{1}{p}}$$

در این مقاله، اولین نیمهٔ انحراف $Q(x)$ از یک هدف از قبل تعیین شده، سنجهٔ ریسک در نظر گرفته می‌شود.

---

1. Risk-averse two-stage stochastic program
2. Risk mapping function

مدل ریاضی کلی مسئله

برای ساخت مدل ریاضی کلی مسئله، از نمادهای زیر استفاده شده است:

مجموعه‌ها

I: مجموعهٔ تأمین‌کنندگان $i \in I$

II: مجموعهٔ تأمین‌کنندگان با قابلیت عقد قرارداد اختیار $k \in II$

J: مجموعهٔ کارخانجات تولیدی $j \in J$

P: مجموعهٔ محصولات $p \in P$

S: مجموعهٔ سناریوها $s \in S$

E: مجموعهٔ سطوح رزرو $e \in E$

T: مجموعهٔ دوره‌ها $t \in T$

پارامترها

N_T: تعداد دوره‌ها

Cap_i: ظرفیت تولید تأمین‌کنندهٔ عمومی i، $i \in I$

$\mathrm{Cap}F_i$: میزان افزایش ظرفیت تأمین‌کنندهٔ تقویت i در صورت تقویت شدن $i \in I$

CF_i: هزینهٔ تقویت‌سازی تأمین‌کنندهٔ تقویت i، $i \in I$

$\mathrm{Cap}P_j$: ظرفیت تولید سایت تولیدی j، $j \in J$

F_i: هزینهٔ ثابت ارتباط با تأمین‌کنندهٔ عمومی i، $i \in I$

HR_j: هزینهٔ نگهداری هر واحد مادهٔ اولیه در سایت تولید j، $j \in J$

HP_j^p: هزینهٔ نگهداری هر واحد محصول p در سایت تولیدی j، $p \in P$ ،$j \in J$

G_p: نرخ مقدار استفاده از مادهٔ اولیه در محصول p، $p \in P$

GP_p: نرخ مقدار استفاده از ظرفیت تولید به ازای هر محصول p، $p \in P$

$d_{j,p}^{t,s}$: میزان تقاضا از محصول p در سایت تولیدی j در دورهٔ t تحت سناریوی s

$s \in S$ ،$t \in T$ ،$j \in J$ ،$p \in P$

PR_k: هزینهٔ اعمال اختیار خرید از تأمین‌کنندهٔ اختیار k، $k \in II$

$p_i^{t,s}$: قیمت تأمین‌کنندهٔ عمومی i در دورهٔ t تحت سناریوی s، $s \in S$ ،$t \in T$ ،$i \in I$

$ACap_i^{t,s}$: ظرفیت در دسترس تأمین‌کنندهٔ عمومی i در دورهٔ t تحت سناریوی s،

$s \in S$ ،$t \in T$ ،$i \in I$

SC_j^p: هزینهٔ کمبود هر واحد محصول p در سایت تولیدی j، $p \in P$ ،$j \in J$

tr_i^j: هزینهٔ حمل هر واحد مادهٔ اولیه از تأمین‌کنندهٔ عمومی i به سایت تولیدی j،
$i \in I$ ،$j \in J$

tr_k^j: هزینهٔ حمل هر واحد مادهٔ اولیه از تأمین‌کنندهٔ اختیار k به سایت تولیدی j،
$j \in J$ ،$k \in II$

OC_k^e: ظرفیت رزرو از تأمین‌کنندهٔ اختیار k در سطح e، $e \in E$ ،$k \in II$

OP_k^e: هزینهٔ کل رزرو از تأمین‌کنندهٔ اختیار k در سطح e، $e \in E$ ،$k \in II$

PC_j^p: هزینهٔ تولید هر واحد محصول p در سایت تولیدی j، $p \in P$ ،$j \in J$

π^s : احتمال سناریوی s، $s \in S$

متغیرهای تصمیم

Z_i: اگر تأمین‌کنندهٔ عمومی i انتخاب شود ۱ و در غیر این صورت صفر است. $i \in I$

X_k^e: اگر از تأمین‌کنندهٔ اختیار k در سطح e رزرو صورت گیرد ۱ و در غیر این صورت صفر است. $e \in E$ ،$k \in II$

Y_i: اگر تأمین‌کنندهٔ عمومی i تقویت شود ۱ و در غیر این صورت صفر است. $i \in I$

$Q_{i,j}^{t,s}$: میزان خرید از تأمین‌کنندهٔ عمومی i در دورهٔ t تحت سناریوی s برای سایت تولیدی j
$s \in S$ ،$t \in T$ ،$j \in J$ ،$i \in I$

$V_{k,j}^{t,s}$: میزان خرید از تأمین‌کنندهٔ اختیار k در دورهٔ t تحت سناریوی s برای سایت تولیدی j
$s \in S$ ،$t \in T$ ،$j \in J$ ،$k \in II$

$L_{j,p}^{t,s}$: میزان کمبود از محصول p در سایت تولیدی j در دورهٔ t تحت سناریوی s،
$s \in S$ ،$t \in T$ ،$j \in J$ ،$p \in P$

$H1_j^{t,s}$: مقدار موجودی مادهٔ اولیه در سایت تولیدی j در انتهای دورهٔ t تحت سناریوی s،
$s \in S$ ،$t \in T$ ،$j \in J$

$H2_{j,p}^{t,s}$: مقدار موجودی از محصول p در سایت تولیدی j در انتهای دورهٔ t تحت سناریوی s،
$s \in S$ ،$t \in T$ ،$j \in J$ ،$p \in P$

$F_{j,p}^{t,s}$: میزان تولید محصول p در سایت تولیدی j در دورهٔ t تحت سناریوی s،
$s \in S$ ،$t \in T$ ،$j \in J$ ،$p \in P$

در ادامه تابع هدف و محدودیت‌های برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای استفاده شده، آمده است.

تابع هدف

تابع هدف مدل تصادفی مسئله، کمینه‌سازی کل هزینه‌ها، شامل مجموع هزینه‌های مرحلهٔ اول و دوم است. هزینه‌های مرحلهٔ اول که مستقل از سناریوهاست از سه نوع هزینهٔ انتخاب تأمین‌کنندگان عمومی (CCS)، رزرو از تأمین‌کنندگان اختیار (CR) و تقویت تأمین‌کنندگان تقویت(CF) تشکیل شده است. هزینه‌های انتخاب تأمین‌کنندگان عمومی مربوط به هزینه‌های مدیریتی ثابتی است که در صورت انتخاب هر تأمین‌کنندهٔ عمومی ایجاد می‌شود. هزینهٔ رزرو از تأمین‌کنندگان اختیار، مربوط به مجموع هزینه‌های خرید اختیار از تأمین‌کنندگان در هر دوره است و هزینهٔ تقویت مربوط به مجموع هزینه‌های تقویت، تأمین‌کنندگانی هستند که برای تقویت انتخاب می‌شوند. هزینه‌های بیان شده در این قسمت به‌صورت زیر فرموله شده‌اند:

رابطهٔ ۵)
$$CCS = \sum_{i \in I} F_i * Z_i$$

رابطهٔ ۶)
$$CR = \sum_{k \in II} (\sum_{e \in E} OP_k^e * X_k^e * N_T)$$

رابطهٔ ۷)
$$CF = \sum_{i \in I} Y_i * CF_i$$

هزینه‌های مرحلهٔ دوم که مربوط به ارزش انتظاری هزینه‌های وابسته به سناریوهاست، از هفت نوع هزینهٔ خرید از تأمین‌کنندگان اختیار (CBR_s)، خرید از تأمین‌کنندگان عمومی (CBF_s)، کمبود محصولات (CS_s)، حمل مادهٔ اولیه از تأمین‌کنندگان به سایت‌های تولیدی (CT_s)، نگهداری مادهٔ اولیه در سایت‌های تولیدی ($CHRM_s$)، نگهداری محصولات در سایت‌های تولیدی (CHP_s) و تولید محصولات در سایت‌های تولیدی (CP_s) تشکیل شده است. در هر دوره، بر اساس میزان خریدی که از تأمین‌کنندگان اختیار و عمومی صورت می‌گیرد، هزینه‌های خرید محاسبه می‌شود و کل هزینهٔ خرید، برابر با مجموع هزینه‌های خرید در هر دوره است. هزینهٔ کمبود برابر جمع هزینه‌های کمبود در هر دوره و هزینهٔ حمل نیز برابر با جمع هزینه‌های حمل مادهٔ اولیه ارسال‌شده از تأمین‌کنندگان به سایت‌های تولیدی در هر دوره است. هزینه‌های نگهداری شامل جمع هزینه‌های نگهداری مادهٔ اولیه و همچنین محصولات تولید شده و باقی‌مانده در انتهای هر دوره در سایت‌های تولیدی است. آخرین هزینهٔ این بخش مربوط به

جمع هزینه‌های تولید محصولات در سایت‌های تولیدی در هر دوره است. هزینه‌های بیان شده در این قسمت به صورت آمده است:

رابطهٔ ۸) $$CBR_s = \sum_{k\in II}\sum_{j\in J}\sum_{t\in T} V_{k,j}^{t,s} * PR_k$$

رابطهٔ ۹) $$CBF_s = \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{t\in T} Q_{i,j}^{t,s} * p_i^{t,s}$$

رابطهٔ ۱۰) $$CS_s = \sum_{j\in J}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} L_{j,p}^{t,s} * SC_j^p$$

رابطهٔ ۱۱) $$CT_s = \sum_{k\in II}\sum_{j\in J}\sum_{t\in T} V_{k,j}^{t,s} * tr_k^j + \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{t\in T} Q_{i,j}^{t,s} * tr_i^j$$

رابطهٔ ۱۲) $$CHRM_s = \sum_{j\in J}\sum_{t\in T} H1_j^{t,s} * HR_j$$

رابطهٔ ۱۳) $$CHP_s = \sum_{j\in J}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} H2_{j,p}^{t,s} * HP_j^p$$

رابطهٔ ۱۴) $$CP_s = \sum_{j\in J}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} F_{j,p}^{t,s} * PC_j^p$$

هزینه‌های مرحلهٔ اول (هزینه‌های انتخاب تأمین‌کنندگان عمومی، رزرو از تأمین‌کنندگان اختیار و تقویت تأمین‌کنندگان تقویت) و هزینه‌های مرحلهٔ دوم (ارزش انتظاری هزینه‌های وابسته به تصمیمات عملیاتی طی دوره)، است. بنابراین تابع هدف را می‌توان به شکل زیر تعریف کرد:

رابطهٔ ۱۵) $$Min\ TC = CCS + CR + CF + \sum_{s\in S} \pi^s * (CBR_s + CBF_s + CS_s + CT_s + CHRM_s + CHP_s + CP_s)$$

در ادامه، محدودیت‌های مسئله تشریح شده است.

محدودیت‌ها

رابطهٔ ۱۶) $$\sum_{k\in II} V_{k,j}^{t,s} + \sum_{i\in I} Q_{i,j}^{t,s} + H1_j^{t-1,s} = H1_j^{t,s} + \sum_p (F_{j,p}^{t,s} * G_p)$$

رابطهٔ ۱۷) $$H2_{j,p}^{t-1,s} + F_{j,p}^{t,s} + L_{j,p}^{\mathrm{t,s}} = d_{j,p}^{t,s} + L_{j,p}^{\mathrm{t-1,s}} + H2_{j,p}^{t,s}$$

رابطهٔ ۱۸) $$\sum_{j\in J} V_{k,j}^{\mathrm{t,s}} \le \sum_{e\in E}(X_k^e * OC_k^e)$$

رابطهٔ ۱۹) $$\sum_{e\in E} X_k^e \le 1$$

رابطهٔ ۲۰) $$\sum_{j\in J} Q_{i,j}^{\mathrm{t,s}} \le Z_i * \mathrm{Cap}_i * ACap_i^{t,s} + Y_i * \mathrm{Cap}F_i$$

رابطهٔ ۲۱) $$\sum_p GP_p * F_{j,p}^{t,s} \le \mathrm{Cap}P_j$$

رابطهٔ ۲۲) $$Y_i \le Z_i$$

رابطهٔ ۲۳) $$Y_i = \{0,1\}, Z_i = \{0,1\}, X_k^e = \{0,1\}, V_{k,j}^{\mathrm{t,s}} \ge 0, Q_{i,j}^{\mathrm{t,s}} \ge 0, L_{j,p}^{\mathrm{t,s}} \ge 0, H1_j^{t,s} \ge 0, H2_{j,p}^{t,s} \ge 0, F_{j,p}^{\mathrm{t,s}} \ge 0$$

محدودیت ۱۶ تعادل بین میزان مصرف مادهٔ اولیه و میزان تولید از محصولات مختلف در سایت‌های تولیدی مختلف را در هر دوره و تحت هر سناریو برقرار می‌کند. محدودیت ۱۷ تضمین می‌دهد که در هر دوره، تحت هر سناریو، به ازای هر محصول در هر سایت تولیدی، میزان کمبود و موجودی اضافهٔ هر محصول در دورهٔ قبل به دورهٔ بعد انتقال یابد و تعادل بین میزان تولید و تقاضا برقرار شود. محدودیت ۱۸ تضمین می‌دهد که کل مادهٔ اولیه ارسال شده از هر تأمین‌کنندهٔ اختیار، در هر دوره، تحت هر سناریو به کل سایت‌های تولیدی، بیشتر از مقدار اختیار خریداری شده برای هر دوره نباشد. محدودیت ۱۹ اجازهٔ استفاده از یکی از سطوح اختیار برای تأمین‌کنندگان اختیار را می‌دهد. محدودیت ۲۰ تضمین می‌دهد که در هر دوره، تحت هر سناریو، میزان مادهٔ اولیه‌ای که از هر تأمین‌کنندهٔ عمومی به کل سایت‌های تولیدی ارسال می‌شود، بیشتر از ظرفیت در دسترس آن تأمین‌کننده نباشد. ۲۱ تعادل بین میزان تولید محصولات و ظرفیت تولید سایت‌های تولیدی را در هر دوره و تحت هر سناریو ایجاد می‌کند و در نهایت محدودیت ۲۲ تنها در صورتی اجازه می‌دهد تأمین‌کنندهٔ عمومی تقویت شود که آن تأمین‌کننده از قبل انتخاب شده باشد.

لحاظ کردن ریسک

با توجه به آنچه در بخش‌های قبل بیان شد، با در نظر گرفتن یک مقدار هدف (T_0) و ضریب ریسک‌گریز (λ)، می‌توان میزان تأثیر ریسک‌گریزی تصمیم گیرنده بر متغیرهای تصمیم و مقدار تابع هدف را سنجید. شکل تابع هدف با در نظر گرفتن ریسک به‌صورت زیر تغییر می‌کند:

رابطهٔ ۲۴)
$$Min\ TC = CCS + CR + CF + \sum_{s\in S} \pi^s * (CBR_s + CBF_s + CS_s + CT_s + CHRM_s + CHP_s + CP_s) + \lambda \sum_s \pi^s * \vartheta^s$$

و محدودیت ۲۵ به محدودیت‌ها اضافه می‌شود.

رابطهٔ ۲۵)
$$\vartheta^s \geq (CBR_s + CBF_s + CS_s + CT_s + CHRM_s + CHP_s + CP_s) - T_0$$

مطالعهٔ موردی

برای نشان دادن کارایی مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای ارائه شده، یک زنجیرهٔ تأمین واقعی پلی‌استایرن معمولی با درجهٔ غذایی GPPS FC[1] را در نظر گرفتیم. زنجیرهٔ تأمین مورد مطالعه به یکی از گروه‌های صنعتی ایرانی به نام گروه صنعتی سهند (SG) که از سال ۱۳۷۲ تأسیس شده است، مربوط می‌شود. یکی از زمینه‌های فعالیت این گروه، تولید محصولات شیمیایی است که می‌توان آنها را در سه دستهٔ ظروف یک بار مصرف (p_1)، عایق‌های حرارتی و رطوبتی پلی‌استایرن اکسترود شده XPS (p_2) و کانال‌های پیش‌ساختهٔ کولر (p_3) دسته‌بندی کرد. گروه صنعتی سهند در حال حاضر دو مرکز تولیدی در اطراف دو شهر تهران(j_1) و تبریز (j_2) دارد و در هر دو مرکز تولید همهٔ محصولات امکان‌پذیر است. هر یک از مراکز تولیدی باید جوابگوی نیاز بازار خود باشند و امکان جابه‌جایی محصولات و مواد بین این دو فراهم نیست. عمدهٔ مادهٔ اولیهٔ مورد استفاده در این سه دسته محصول GPPS FG است. SG می‌تواند GPPS FG را از هشت تأمین‌کنندهٔ عمومی $(i_1, \dots, i_8)$ در هر دوره تهیه کند. سه تأمین‌کنندهٔ اختیار (k_1, k_2, k_3) به‌عنوان تأمین‌کنندگانی که می‌توان با آنها قرارداد اختیار[2] منعقد کرد، انتخاب شده‌اند. در ضمن SG می‌تواند سه تأمین‌کنندهٔ عمومی را (i_2, i_6, i_7) تقویت کند و ظرفیت آنها را نسبت به ظرفیت فعلی افزایش دهد و این ظرفیت دور از آسیب هر گونه اختلال به ظرفیت قبلی تأمین‌کننده اضافه می‌شود. از آنجا که خط اکسترودر این کارخانه‌ها، خوراک دهندهٔ بقیهٔ خطوط تولید است، ظرفیت تولید این خط بر حسب میزان مصرف مادهٔ اولیه GPPS FD به تن به‌عنوان ظرفیت تولید کارخانه در نظر گرفته شده است که برای کارخانهٔ تهران ۲۴۵۹ و برای کارخانهٔ تبریز ۱۳۲۴ تن در ماه است. هزینهٔ نگهداری هر تن از مادهٔ اولیه و محصولات با توجه به شرایط نگهداری آنها همراه با هزینه‌های تولید و کمبود محصولات در جدول ۲ آمده است.

---

1. General purpose poly-styrene food grade
2. Option contract

جدول ۲. مشخصات هزینه‌های نگهداری، کمبود و تولید

مراکز تولید	هزینهٔ نگهداری هر تن از محصول (دلار)			هزینهٔ تولید هر تن محصول (دلار)			هزینهٔ کمبود به ازای هر تن از محصول (دلار)			هزینهٔ نگهداری هر تن از مادهٔ اولیه (دلار)
	p_1	p_2	p_3	p_1	p_2	p_3	p_1	p_2	p_3	
تهران	۱۸۷	۳۷۵	۵۲۵	۱۳۵	۲۷۰	۵۴۰	۲۷۵	۶۷۰	۱۰۵۰	۵۰
تبریز	۱۱۲	۲۲۵	۳۱۵	۱۶۲	۲۸۳	۴۸۶	۲۷۵	۶۷۰	۱۰۵۰	۳۵

یافته‌های پژوهش

در این بخش، مدل برنامه‌ریزی تصادفی پیشنهادی برای نمونهٔ مورد مطالعه با استفاده از حل‌کنندهٔ CPLEX Solver در نرم‌افزار GAMS 24.1 حل شده و نتایج عددی آن به‌دقت تحلیل و ارزیابی می‌شود. برای پیاده‌سازی و اجرای مدل، از یک کامپیوتر شخصی با مشخصات Intel Corei5-520 M CPU(2.40 GHz), 4G Ram استفاده شده است.

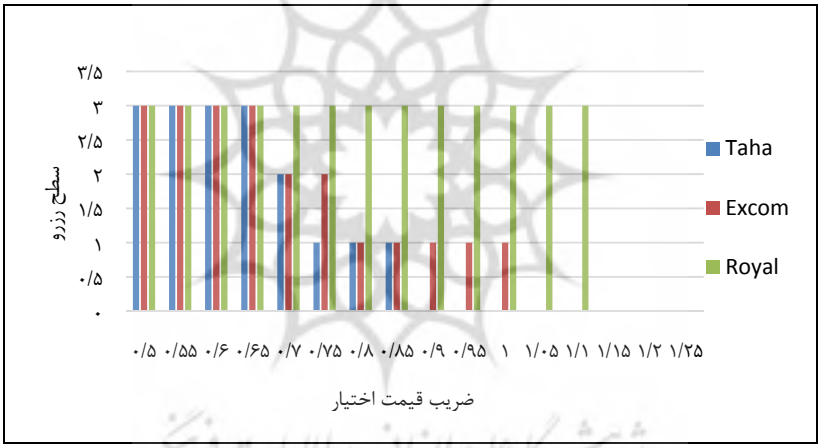
در مسئلهٔ برنامه‌ریزی تصادفی مدیریت تأمین مورد مطالعه، شبکه‌ای از ۶۰۰ سناریوی اولیه تولید کردیم و با استفاده از روش کاهش سناریو سریع پیشرو ارائه شده در مقالهٔ شهیده‌پور و لی (۲۰۰۷)، این تعداد را به ۲۰ سناریو برای حل مسئله طراحی شبکهٔ تأمین کاهش دادیم. فرایند سناریوسازی و کاهش آنها در نرم‌افزار Matlab 2014a کد شده و تولید گردید. با حل برنامه‌ریزی تصادفی ریسک خنثی، مقادیر بهینهٔ متغیرهای تصمیم مرحلهٔ اول یا متغیرهای تصمیم اول دوره شامل انتخاب از بین تأمین‌کنندگان عمومی، تصمیم‌گیری در خصوص تقویت تأمین‌کنندگانی که امکان تقویت آنها وجود دارد و سطح رزرو از تأمین‌کنندگان اختیار، به‌دست آمد. از بین تأمین‌کنندگان عمومی i_5, i_6, i_7, i_8 انتخاب شدند و از بین تأمین‌کنندگان اختیار با k_2 در سطح ۱ و با k_3 در سطح ۳ قرارداد اختیار منعقد شد و هیچ تأمین‌کننده‌ای برای تقویت انتخاب نگردید. مقدار تابع هدف برنامه‌ریزی تصادفی، ریسک خنثی برابر با 5/82E+07 دلار است که هزینه‌های مربوط به تصمیمات اول دورهٔ مسئله 2/62E+06 دلار و هزینهٔ مرحلهٔ دوم مربوط به ارزش انتظاری هزینه‌های ناشی از تصمیمات عملیاتی تحت هر سناریو ، 5/56E+07 دلار است. برای تحلیل تأثیر تغییرات در برخی از پارامترهای اصلی مسئله، در قسمت بعدی به تحلیل حساسیت پارامترهای اصلی مسئله در حالت ریسک خنثی پرداخته شده است.

تحلیل حساسیت

در این بخش تأثیر مقادیر چند پارامتر زنجیرهٔ تأمین بر هزینه و چگونگی شبکهٔ تأمین حالت ریسک خنثی بررسی خواهد شد. پارامترهای بیان شده، پارامترهایی هستند که بیشترین تأثیر را بر مسئلهٔ ما داشته‌اند.

قیمت اختیار خرید

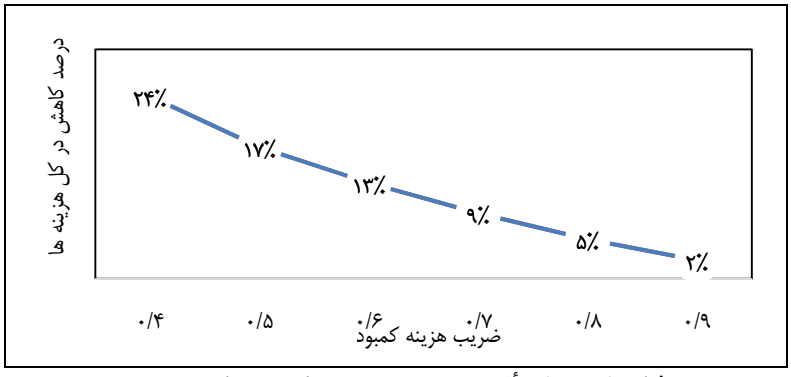
با توجه به اینکه برای هر یک از تأمین‌کنندگان اختیار، سه سطح رزرو در نظر گرفته شده است، میزان قیمت اختیار، بر سطوح انتخاب شده برای قرارداد اختیار و همچنین هزینهٔ کل، تأثیر زیادی دارد. از این رو، ضریبی را به‌عنوان ضریب قیمت اختیار برای سطوح مختلف در نظر گرفتیم و به بررسی این نکته پرداختیم که چگونه تغییر در ضریب مذکور بر انتخاب تأمین‌کنندگان اختیار و سطحی که با آنها قرارداد اختیار منعقد می‌شود، تأثیرگذار است. شکل ۳ این تأثیر را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در صورت افزایش بیش از ۱۰ درصدی قیمت‌های اختیار، منعقد کردن قرارداد با این دسته از تأمین‌کنندگان اقتصادی نیست، اما در صورت کاهش ۳۵ درصدی از قیمت‌های اختیار با همهٔ تأمین‌کنندگان این دسته، قرارداد اختیار در سطح ۳ منعقد خواهد شد و هزینهٔ کل را به میزان 4/54E+06 دلار کاهش خواهد داد.



شکل ۳. نمودار تأثیر تغییر در قیمت‌های اختیار بر سطح رزرو از تأمین‌کنندگان اختیار در هر دوره

هزینهٔ کمبود محصولات

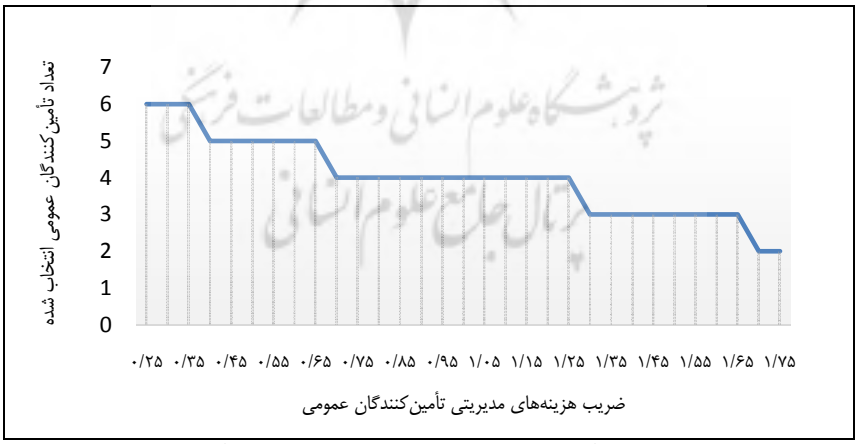
در این مسئله، هزینه‌های کمبود محصولات در هر دوره در مقایسه با سایر پارامترها، تأثیر بسیار زیادی بر کل هزینه‌ها می‌گذارد. برای بررسی این مهم، مانند بخش قبل ضریب کاهنده‌ای را در نظر گرفتیم که بتوانیم تأثیر کاهش هزینهٔ کمبود محصولات را روی هزینهٔ کل نشان دهیم. شکل ۴ این تأثیر را نشان می‌دهد. همان‌طور مشاهده می‌شود، SG می‌تواند با کاهش ۳۰ درصدی هزینه‌های کمبود، به میزان ۹ درصد کل هزینه‌های شبکه را کاهش دهد.



شکل ٤. نمودار تأثیر تغییر در هزینه‌های کمبود بر کل هزینه‌ها

هزینه‌های مدیریتی انتخاب تأمین‌کنندگان عمومی

همان‌طور که در شکل ۵ می‌بینید، هزینه‌های مدیریتی انتخاب تأمین‌کنندگان روی تعداد انتخاب از تأمین‌کنندگان، تأثیر زیادی داشته و این تعداد از بین ۲ تا ۶ تأمین‌کنندهٔ عمومی نوسان دارد. بنابراین از این نمودار می‌توان فهمید که چگونه افزایش هزینه‌های مدیریتی تأمین‌کنندگان در دنیای امروز موجب شده است، هر زنجیرهٔ تأمین به‌دنبال کاهش تعداد تأمین‌کنندگان خود باشد. همچنین کاهش هزینه‌های مدیریتی انتخاب تأمین‌کنندگان حدود ۲ درصد در کاهش هزینه‌های کل، تأثیرگذار بود.



شکل ۵. نمودار تأثیر تغییر در هزینه‌های مدیریتی انتخاب تأمین‌کنندگان بر تعداد انتخاب شده از بین آنها

هزینهٔ تأمین‌کنندگان تقویت

از آنجا که با هزینهٔ تقویت فعلی که برای تقویت تأمین‌کننـدگان وجـود دارد، هـیچ یـک از آنهـا انتخاب نشدند، در این قسمت با تعریف یک ضریب برای این هزینه و کاهش آن، امکان انتخاب این تأمین‌کنندگان را بررسی کنیم. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شـود، در صـورتی کـه حدود ۶۰ درصد از هزینهٔ فعلی تقویت برای تأمین‌کنندگان کاسته شود، دو تـأمین‌کننـدهٔ i_7 و i_6 انتخاب می‌شوند، اما تأمین‌کنندهٔ دیگر (i_2) حتی در این حالت نیز برای تقویت انتخاب نمی‌شود.

جدول ۳. تأثیر میزان کاهش هزینه‌های تقویت بر انتخاب تأمین‌کنندگان تقویت

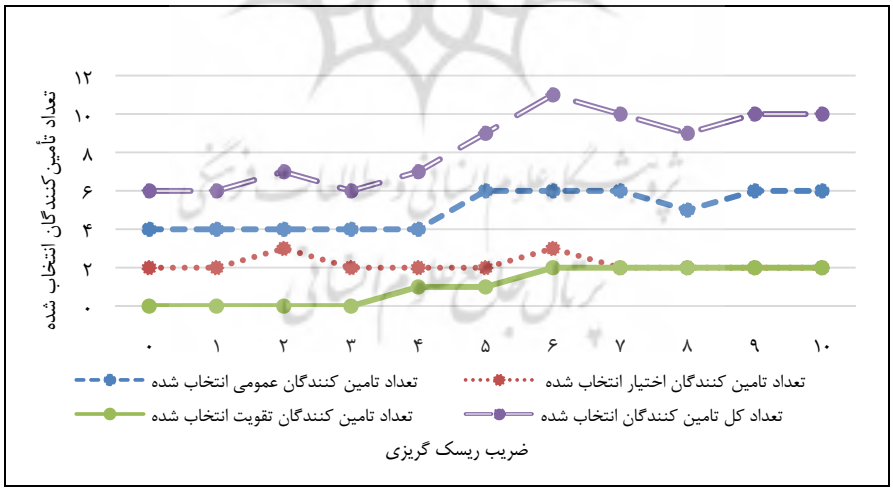
ضریب هزینهٔ تقویت / تأمین‌کنندگان تقویت	۱	۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/٦	۰/٥	۰/٤	۰/۳	۰/۲
تایتا	×	×	×	×	×	×	×	×	×
تاها	×	×	×	×	×	×	✓	✓	✓
اکسوم	×	×	×	×	×	×	×	✓	✓

تحلیل ریسک

همان‌طور که پیش از این بیان شد، سنجهٔ ریسک به‌کار رفته در این تحقیق، سنجهٔ نیمهٔ انحـراف از هدف است. با استفاده از رابطه‌های ۲۴ و ۲۵، مقدار هدف (T_0) برابر با 5/480E+07 در نظر گرفته می‌شود. در حالت ریسک خنثی، مقدار فاکتور ریسک‌گریزی (λ) برابر با صفر است. در واقعیت مقدار این ضریب به درجهٔ ریسک‌گریزی تصـمیم‌گیرنـده مـرتبط اسـت؛ بـه ایـن معنـا کـه هرچـه فـرد تصمیم‌گیرنده ریسک‌پذیرتر باشد، مقدار λ کمتر است و هرچه ریسک‌پذیری تصـمیم‌گیرنـده کمتـر باشد، تصمیم‌گیرنده ریسـک گریزتـر و مقـدار λ بیشـتر اسـت. در ادامـه بـه بررسـی تـأثیر فـاکتور ریسک‌گریزی (λ) روی هزینه‌ها و انتخـاب تـأمین‌کننـدگان مـی‌پـردازیم. شـکل ۶ تـأثیر ضـریب ریسک‌گریزی را روی هزینه‌ها نشان می‌دهد. هزینه‌های بیان شده در این نمـودار عبـارت‌انـد از: هزینهٔ مرحلهٔ اول (شامل هزینه‌های انتخاب تأمین‌کنندگان عمومی، رزرو از تأمین‌کنندگان اختیـار و تقویت تأمین‌کنندگان)، هزینهٔ مرحلهٔ دوم (ارزش انتظاری هزینـه‌هـای وابسـته بـه سـناریوها)، هزینهٔ نیمهٔ انحراف از هدف (میانگین انحرافات مثبت از هدف)، هزینهٔ کل (مجمـوع سـه هزینـهٔ قبل) و هزینه در حالت ریسک خنثی (مجموع هزینه‌های مرحلـهٔ اول و دوم). همـان‌گونـه کـه از شکل ۶ معلوم است، با داشتن یک مقدار هدف (T_0) ثابت، هزینه‌های مرحلهٔ اول، نیمهٔ انحراف از هدف و هزینهٔ کل افزایش یافته و از هزینهٔ مرحلهٔ دوم کاسته شده است، اما افزایش هزینه‌هـای مرحلهٔ اول بیشتر از کاهشی است که در هزینه‌های مرحلهٔ دوم رخ می‌دهد. کـاهش هزینـه‌هـای مرحلهٔ دوم می‌تواند به‌دلیل کاهش هزینه‌های کمبود تحت سناریوهای مختلف باشد.

شکل ٦. نمودار میزان تأثیر فاکتور ریسک‌گریزی تصمیم‌گیرنده روی انواع توابع هزینه

در شکل ۷ تأثیر افزایش ضریب ریسک‌گریزی بر تعداد تأمین‌کنندگان انتخاب شده، بررسی شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش ضریب ریسک‌گریزی، انتخاب از بین تأمین‌کنندگان عمومی، اختیار و تقویت بیشتر می‌شود.



شکل ۷. نمودار تأثیر افزایش ضریب ریسک‌گریزی بر تعداد تأمین‌کنندگان انتخاب شده

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این مقاله یک مدل ریاضی کلی برای طراحی و برنامه‌ریزی یک شبکهٔ تأمین چند دوره‌ای در یک زنجیرهٔ تأمین دو سطحی شامل چند تولیدکننده و چند تأمین‌کننده، تحت تقاضاهای تصادفی مشتریان و قیمت‌های تصادفی تأمین‌کنندگان ارائه داده است که بر خلاف مطالعات گذشته، ریسک‌های اختلالات تأمین، استراتژی‌های کاهشی و برنامه‌های عملیاتی احتمالی برای مقابله با ریسک‌ها را نیز به‌منظور افزایش انعطاف‌پذیری شبکهٔ تأمین در نظر گرفته است. همچنین برای نزدیک‌تر شدن مدل به واقعیت، همزمان مسئلهٔ چگونگی برنامه‌ریزی تولید محصولات در سایت‌های تولیدی را نیز مد نظر قرار داده است. مسئله با استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای فرموله شد. تصمیمات مرحلهٔ اول شامل انتخاب از بین تأمین‌کنندگان عمومی، تصمیم‌گیری در خصوص تقویت آنها و میزان قرارداد اختیار برای هر دوره بود. از آنجا که تقاضا و قیمت در مدل متغیرهای زمانی در نظر گرفته شدند، مرحلهٔ دوم شامل چند دورهٔ عملیاتی در نظر گرفته شد. مسئله از دید تصمیم‌گیرندهٔ ریسک خنثی و تصمیم‌گیرندهٔ ریسک‌گریز بررسی گردید. برای نشان دادن کاربردی بودن مدل ارائه شده، پس از پیاده‌سازی مدل روی یک نمونهٔ موردی واقعی، تأثیر فاکتور ریسک‌گریزی تصمیم‌گیرنده روی متغیرهای تصمیم مسئله بررسی شد.

نتایج محاسباتی نشان می‌دهد چگونه پارامترهای مختلف مسئله، تصمیمات مربوط به طراحی شبکهٔ تأمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این یافته‌ها در خلال تحلیل حساسیت صورت گرفته به‌دست آمد. با افزایش ضریب ریسک‌گریزی تصمیم‌گیرنده، هزینه‌های مرحلهٔ اول، نیمهٔ انحراف از هدف و هزینهٔ کل افزایش یافت و از هزینهٔ مرحلهٔ دوم کاسته شد و این نشان می‌دهد افزایش در هزینه‌های مرحلهٔ اول بیشتر از کاهشی است که در هزینه‌های مرحلهٔ دوم رخ می دهد. همچنین مشخص شد در حالت ریسک خنثی، قیمت اختیار خرید بر انتخاب این تأمین‌کنندگان و سطح رزرو از آنها تأثیر زیادی دارد. به علاوه به این نتیجه رسیدیم که داشتن استراتژی‌های کاهشی و برنامه‌های عملیاتی احتمالی در شرایطی که ریسک‌گریزی تصمیم‌گیرنده بیشتر می‌شود، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. در زمینهٔ تأثیر بسزای کاهش هزینه‌های کمبود محصولات در کاهش هزینهٔ کل و تأثیر هزینه‌های مدیریتی تأمین‌کنندگان عمومی در انتخاب آنها نیز بحث کردیم.

پیشنهادهای تحقیقاتی بسیاری برای توسعهٔ مدل وجود دارد که از آن جمله می‌توان به در نظر گرفتن فاکتورهای محیطی و اجتماعی در انتخاب تأمین‌کنندگان، قیمت‌گذاری اختیار، استفاده از سنجه‌های ریسک دیگر و مقایسهٔ آنها اشاره کرد.

فهرست منابع

دری، ب.، حمزه‌ای، ا. (۱۳۸۹). تعیین استراتژی پاسخ به ریسک در مدیریت ریسک به‌وسیلهٔ تکنیک ANP (مطالعهٔ موردی: پروژهٔ توسعهٔ میدان نفتی آزادگان شمالی)، *نشریهٔ مدیریت صنعتی*، ۲ (۴)، ۹۲-۷۵.

سلسبیل، م.، شفیعا، م. ع.، پیشوایی، م.، شهانقی، ک. (۱۳۹۴). برنامه‌ریزی تاکتیکی استوار زنجیرهٔ تأمین جهانی سه سطحی تحت شرایط اختلال تحریم با در نظر گرفتن عمر قفسه‌ای (مطالعهٔ موردی: زنجیرهٔ تأمین دارو)، *نشریهٔ مدیریت صنعتی*، ۷(۲)، ۳۳۲-۳۰۵.

Ahmed, S. (2006). Convexity and decomposition of mean risk stochastic programs. *Mathematical Programming*, 106 (3), 433-446.

Ayhan, M.B. & Kilic, H.S. (2015). A two stage approach for supplier selection problem in multi item/ multi-supplier environment with quantity discounts. *Computers & Industrial Engineering*, 85, 1-12.

Ayhan, M.B. (2013). Fuzzy TOPSIS Application for supplier selection problem. *International Journal of Information Business and Management*, 5 (2), 159-174.

Burt, D.N., Dobler, D.W. & Starling, S.L. (2004). *World Class Supply Management: The Key to Supply Chain Management* (Seventh ed). McGrawHill, Boston, MA.

Carbone, J., (1999). Evaluation programs determine top suppliers. *Purchasing, 127* (8), 31–35.

Cárdenas-Barrón, L.E., González-Velarde, J.L. & Treviño-Garza, G. (2015). A new approach to solve the multi-product multi-period inventory lot sizing with supplier selection problem, *Computers & Operations Research*, 64, 225-232.

Eppen, G.D., Martin, R.K. & Schrage, L. (1989). OR practice- a scenario approach to capacity planning. *Operations Research*, 37(4), 517–527.

Fábián, C.I. (2013*). Computational aspects of risk-averse optimization in two-stage stochastic models*. Available in: http://www.optimization-online.org/DB_ FILE/2012 /08/3574.pdf.

Ghodsypour, S.H. & O'Brien, C. (1998). A Decision Support System for Supplier Selection Using an Integrated Analytic Hierarchy Process and Linear Programming. *International Journal of Production Economics*, 56-57, 199-212.

Govindan, K. & Fattahi, M. (2015). Investigating risk and robustness measures for supply chain network design under demand uncertainty: A case study of glass supply chain. *International Journal of Production Economics*, 183, 680-699.

Haldar, A. & Ray, A. (2014). Resilient supplier selection under a fuzzy environment. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 9(2), 147-156.

Handfield, R.B. & McCormack, K. (2008). *Supply Chain Risk Management: Minimizing Disruptions in Global Sourcing. Series on Resource Management*. New York, Auerbach Publications.

Heidarzade, A., Mahdavi, I. & Mahdavi-Amiri, N. (2015). Supplier Selection Using a Clustering Method Based on a New Distance for Interval Type-2Fuzzy Sets: A Case Study. *Applied Soft Computing Journal*, 38(c), 213-231.

Hou, A. Z. Zeng, and L. Zhao, "Coordination with a backup supplier through buy-back contract under supply disruption," Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 46, 881-895.

Inderfurth, K., Kelle, P. & Kleber, R. (2013). Dual sourcing using capacity reservation and spot market: Optimal procurement policy and heuristic parameter determination. *European Journal of Operational Research*, 225(2), 298-309.

Inderfurth, K. & Kelle, P. (2011). Capacity reservation under spot market price uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 133(1), 272-279.

Keyvanloo, A., Kimiagari, A.M. & Esfahanipour, A. (2014). Risk analysis of sourcing problem using stochastic programming, *Industrial Engineering*, 21(3), 1034-1043.

Krajewsld, L.J. & Ritzman, L.P. (1996). *Operations Management Strategy and Analysis*. London, Addison-Wesley Publishing Co.

Linthorst, M.M. & Telgen, J. (2007). *Public Purchasing Future: Buying from Multiple Sources.* Advancing Public Procurement: Practices, Innovation and Knowledge-Sharing. Academics Press, Boca Raton, FL., 471–482.

Manuj, I. & Mentzer, J.T. (2008). Global supply chain risk management strategies. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 38 (3), 192–223.

Meena P.L., Sarmah S.P. & Sarkar S.A. (2011). Sourcing decisions under risks of catastrophic event disruptions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,* 47(6), 1058–1074.

Moghaddam, K. (2015). Fuzzy multi-objective model for supplier selection and order allocation in reverse logistics systems under supply and demand uncertainty. *Expert Systems with Applications*, 42, 6237-6254.

Moritz, S. & Pibernik, R. (2008). The optimal number of suppliers in the presence of volume discounts and different compensation potentials – an analytical and numerical analysis. *Working Paper.* European Business School Research.

Nam, S.H., Vitton, J. & Kurata, H. (2009). Robust supply base management: determining the optimal number of suppliers utilized by contractors. *International Journal of Production Economics*, 134(2), 333-343.

Neiger, D., Rotaru, K., & Churilov, L. (2009). Supply chain risk identification with value-focused process engineering. *Journal of Operations Management,* 27, 154-168.

Norrman, A. & Jansson, U. (2004). Ericsson's proactive supply chain risk management approach after a serious sub-supplier accident. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management,* 34 (5), 434-456.

Noyan N. (2012). Risk-averse two-stage stochastic programming with an application to disaster management. *Computers and Operations Research*. (39), 541–559.

Oke, A. & Gopalakrishnan, M. (2009). Managing disruptions in supply chains: A case study of a retail supply chain. *International Journal of Production Economics*, 118, 168–174.

Pazhani, S., Ventura, J.A. & Mendoza, A. (2015). A Serial Inventory System with Supplier Selection and Order Quantity Allocation considering Transportation Costs. *Applied Mathematical Modelling*,40(1), 612-634.

Rawls, C.G. & Turnquist, M.A. (2010). Pre-positioning of emergency supplies for disaster response. *Transportation Research Part B: Methodological*, 44(4), 521–534.

Ross, S.M. (2007). *Introduction to Probability Models.* Academic Press.

Ruiz-Torres, A., Mahmoodi, F. & Zeng, A. (2013). Supplier selection model with contingency planning for supplier failures. *Computers & Industrial Engineering*, 66(2), 374-382.

Sawik, T. (2011). Selection of supply portfolio under disruption risks, *Omega, vol*, 39, 194-208.

Sawik, T. (2013). Selection of resilient supply portfolio under disruption risks. *Omega*, 41, 259–269.

Schoenherr, T., Modi, S.B., Benton, W.C., Carter, C.R., Choi, T.Y., Larson, P.D., Leenders, M.R., Mabert, V.A., Narasimhan & R., Wagner, S.M. (2012). Research opportunities in purchasing and supply management. *International Journal of Production Research*, 50, 4556–4579.

Shahidehpour, M & Li, T. (2007). Stochastic Security-Constrained Unit Commitment. *Ieee Transactions On Power Systems*, 22, 800-811.

Sonmez, M. (2006). A review and critique of supplier selection process and practices. *Working Paper*. European Business School Research, Loughborough University.

Tang, C. S. (2006). Perspectives in supply chain risk management. *International Journal of Production Economics*, 103, 451-488.

Tomlin, B. (2006). On the value of mitigation and contingency strategies for managing supply chain disruption risks. *Management Science*, 52 (5), 639–657.

Torabi, S.A., Baghersad, M. & Mansouri, S.A. (2015). Resilient supplier selection and order allocation under operational and disruption risks. *Transportation Research Part E*, 79, 22–48.

Trevelen, M. & Schweikhart, S.B. (1988). A risk/benefit analysis of sourcing strategies: single vs multiple sourcing. *Journal of Operations Management*, 7 (4), 93–114.

Trikman, 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, 247–258.

Weber, C.A., Current J.R. & Benton, W.C. (1991). Vendor Selection Criteria and Methods. *European Journal of Operational Research*, 50(1), 2-18.

Yu, H., Zeng, A.Z. & Zhao, L. (2009). Single or dual sourcing: decision-making in the presence of supply chain disruption risks. *Omega*, 37 (4), 788–800.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی