مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۴۰۲)
دوره‌ی ۳۹، شماره‌ی ۲، صص. ۱۲۳-۱۳۳، (پژوهشی)

Original Article

هماهنگی تأمین و توزیع اقلام امدادی لجستیک بشردوستانه براساس قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت و برون‌سپاری: یک رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی

حمیرا کرد (دانشجوی کارشناسی ارشد)
پروانه سموئی * (استادیار)
دپارتمان مهندسی صنایع، دانشکده‌ی فنی و مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

در این پژوهش، قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت (QFC)، با تعیین مقدار سفارش بین سازمان امداد و تولیدکننده داخلی، نوعی هماهنگی را برای مدیریت موجودی به‌وجود می‌آورد. اجزای زنجیره تأمین چند محصولی شامل؛ تولیدکننده داخلی، تامین کننده خارجی، سازمان امدادرسان و نقاط تقاضا (مناطق آسیب دیده) هستند. با توجه به قرارگرفتن در شرایط بحران، تقاضای مناطق آسیب دیده به‌صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده است. اهداف مدل به‌صورت کمینه‌سازی هزینه‌های کل زنجیره و کل زمان‌ها تعریف شده است. برای حل مدل تصادفی عدد صحیح، برای اولین بار در این حوزه، از روش اپسیلون محدودیت تقویت شده استفاده شده است. به‌منظور صحه‌گذاری، تحلیل حساسیت‌های مختلفی از انجام شده که صحت مدل ارائه شده را تأیید می‌نماید. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی، نسبت به تغییرات تقاضا، حساسیت بیشتری دارد، لذا ضروری است برنامه‌ریزان این حوزه نسبت به پارامتر تقاضا، دقت و توجه بیشتری داشته باشند.

واژگان کلیدی: قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت، برون‌سپاری، لجستیک بشردوستانه.

kordhomyra@gmail.com
p.samouei@basu.ac.ir

۱. مقدمه

هنگامی‌که یک فاجعه در یک قسمت خاص از جهان رخ می‌دهد، بسیاری از سازمان‌ها برای تهیه وسایل ضروری مانند کیت‌های پزشکی، پتو، غذا، آب، سرپناه و غیره، به افراد آسیب دیده یاری می‌رسانند. در چنین شرایطی، هماهنگی بین اعضای مختلف بسیار مهم است و برای یک سازمان واحد، انجام کلیه فعالیت‌های لازم از جمله ترمیم زیرساخت‌های آسیب دیده و تأمین کلیه موارد کمک‌رسانی دشوار است. تهیه کالاهای امدادی مانند واکسن و دارو یکی از اصلی‌ترین عملیات تدارکات بشردوستانه است که اگر به درستی انجام شود، می‌تواند جان بسیاری از افراد آسیب دیده را نجات دهد. در این شرایط، قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت می‌تواند برای برنامه‌ریزی سفارش کالاهای امدادی مانند واکسن و دارو، خرید و مدیریت اضطراری مفید باشد. زمانی این قرارداد می‌تواند اعمال شود که تولیدکننده قادر به تولید فوری اقلام نباشد. از طرفی، تهیه کالاهای امدادی به اندازه مناسب، چالش بزرگی در تدارکات بشردوستانه است. اگر سازمان امدادرسان تصمیم به خرید بیش‌ازحد داشته باشد، ممکن است منجر به افزایش هزینه موجودی کالا شود، درحالی که خرید با مقادیر کمتر می‌تواند باعث مشکلات مربوط به کمبود کالا پس از فاجعه و یا مرگ‌ومیرهای ناشی از نرسیدن اقلام امدادی مثل واکسن، خون و غیره شود. تولیدکننده نیز اگر مقدار زیادی کالای امدادی تهیه کند، ممکن است همه کالاهای تهیه شده به‌فروش نرسد که در این صورت با هزینه انبارداری و یا فساد کالا مواجه می‌شود. لذا قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت با تعیین مقدار سفارش بین سازمان امداد و یک تولیدکننده داخلی، هماهنگی را برای مدیریت موجودی در نظر می‌گیرد. در حالت استفاده از قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت و برون‌سپاری، ممکن است تولیدکننده هم از افزایش حجم فروش و هم از میزان پس‌انداز بهره ببرد. ادغام استراتژی برون‌سپاری باسیاست سفارش انعطاف‌پذیر باعث می‌شود تا از هزینه‌های اضافی جلوگیری شود، ازاین‌رو در این پژوهش، به ادغام استراتژی برون‌سپاری باسیاست سفارش انعطاف‌پذیر در شرایط بحران برای تهیه و توزیع اقلام امدادی پرداخته شده است. در ادامه این پژوهش، در بخش دوم، پیشینه تحقیق مرور می‌شود و در بخش سوم، به مسئله تعریف و مدل ریاضی پیشنهادی ارائه می‌گردد. در بخش چهارم، شرح روش برنامه‌ریزی تصادفی عدد صحیح و حل با روش اپسیلون محدودیت تکامل یافته در نرم‌افزار گمز ارائه می‌شود. در بخش پنجم، تحلیل حساسیت رفتار مدل و در بخش ششم، نتیجه‌گیری

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۴۰۱/۳/۲۵، اصلاحیه ۱۴۰۱/۸/۱۱، پذیرش ۱۴۰۱/۹/۱.

استناد به این مقاله:
کرد، حمیرا و سموئی، پروانه، ۱۴۰۲. هماهنگی تأمین و توزیع اقلام امدادی لجستیک بشردوستانه براساس قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت و برون‌سپاری: یک رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی. مهندسی صنایع و مدیریت شریف، ۳۹(۲)، صص.۱۲۳-۱۳۳. DOI:10.24200/J65.2022.60219.2295

پژوهش و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آینده ارائه خواهد شد.

نوآوری‌های پژوهش حاضر عبارتند از:

۱. در نظرگرفتن QFC [۱] و برون‌سپاری برای بحران؛

۲. در نظرگرفتن زمان و هزینه حمل‌ونقل؛

۳. استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی دو هدفه برای امدادرسانی سریع و کم‌هزینه ضمن وجود عدم قطعیت در پارامتر تقاضا.

۲. پیشینه تحقیق

ساختار بخش مرور پیشینه پژوهش به این‌صورت است که در ابتدا پژوهش‌های حوزه لجستیک بشردوستانه و سپس به‌ترتیب پژوهش‌هایی که از سایر قراردادها و قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت در شرایط بحران، برون‌سپاری در شرایط عادی و بحران و ادغام قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت و برون‌سپاری در زنجیره تأمین استفاده کرده‌اند، بررسی می‌شوند. عاملی که مدیریت بحران را در حوادث طبیعی تسهیل می‌کند، وجود یک زنجیره یکپارچه از تمامی اجزا و خدمات امدادی به افراد درگیر در حادثه است که تحت عنوان زنجیره بشردوستانه شناخته می‌شود. ابنی و حبیب زاده[۱] زنجیره تأمین بشردوستانه را به‌عنوان یک فعالیت مهم مدیریت بحران که می‌تواند در نجات جان افراد، انتقال آسیب دیدگان به مراکز اورژانسی، تخلیه بی‌خانمان‌ها از ناحیه آسیب دیده و برآوردن نیاز افراد درگیر بحران، نقش کلیدی ایفا کند، تعریف کردند. اباذری و همکاران[۲] در پژوهش خود به مطالعه یک شبکه زنجیره تأمین بشردوستانه که شامل مکان‌یابی مراکز امدادی، پیش تعیین موقعیت و توزیع اقلام امدادی و ارائه درمان‌های پزشکی در مناطق آسیب‌دیده برای کمک به افراد رنج دیده پرداختند. آنها دریافتند که مشارکت سازمان‌های غیردولتی به‌طور قابل توجهی عملکرد زنجیره تأمین بشردوستانه را افزایش می‌دهد. طلایی و همکاران[۳] تأثیر عوامل یکپارچگی زنجیره تأمین بشردوستانه بر نتایج عملکردی و نقش تعدیل‌گری کمبود و مازاد منابع را بر رابطه مورد نظرشان بررسی کردند. آنها دریافتند که به اشتراک‌گذاری منابع، استانداردسازی عملیات، هماهنگ‌سازی زنجیره تأمین، کارگروهی و رهبری عملیات بر ابعاد سه‌گانه نتایج عملکرد تأثیر مثبت و معناداری دارد. از دیگر پژوهش‌های حوزه لجستیک بشردوستانه پژوهش علی دوست و همکاران[۴] است. آنها یک مدل سه هدفی برای تأمین و توزیع به‌اندازه و به‌موقع دارو در شرایط بحران ارائه دادند. هدف اول مدل ارائه شده، کمینه‌سازی هزینه‌ها، هدف دوم کمینه‌سازی درصد کمبود دارو و هدف سوم بیشینه‌سازی پراکنش مراکز توزیع با رویکرد امدادرسانی بهتر در زمان وقوع حادثه بود. از جمله پژوهش‌هایی که سایر قراردادها را در شرایط بحران بررسی نمودند، مرجع مربوط به پاترا و جها[۵] است که در آن، یک قرارداد اختیار دوطرفه در یک زنجیره تأمین امداد دوسطحی متشکل از یک تأمین‌کننده و یک سازمان بشردوستانه برای کاهش خطرات تولید بیش از حد و خطر کمبود در زمان فاجعه معرفی شده است. اسدخانی و همکاران[۶] در پژوهش خود، یک زنجیره بشردوستانه دوسطحی فروشنده ـ خریدار را تحت توافقنامه موجودی مدیریت شده فروشنده با سهام محموله (VMI-CS) را بررسی نمودند. آنها دریافتند که عملکرد توافقنامه VMI-CS برای همه سیاست‌های برداشت برتر از مکانیسم سنتی است، اما اشتراک صرفه‌جویی در هزینه آن باید بهبود یابد. چن و همکاران[۷] یک قرارداد ترکیبی ذخیره و اختیار برای خرید کالاهای کمک‌های بشردوستانه پیشنهاد و توسعه دادند. در مدل آنها، هم عرضه و هم تقاضای کالاهای امدادی به‌عنوان تابعی از شدت فاجعه در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، یک مسئله بهینه‌سازی دو هدفه با این مدل فرموله کردند تا هزینه مورد انتظار آژانس مدیریت و ریسک و کمبود مبتنی بر ارزش را کمینه نمایند. پژوهش‌های محدودی از قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت در شرایط بحران استفاده نمودند، در یکی از این موارد، نیک‌خو و همکاران[۸] قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت در زنجیره تأمین را یک قرارداد کمی تعریف کردند که پیرامون مذاکره بین تأمین‌کننده و خریدار در مورد مقدار سفارش صورت می‌گیرید. به‌طور مثال، تحت این قرارداد، سازمان امداد، قبل از وقوع فاجعه، سفارشی به تأمین‌کننده می‌دهد و متعهد به خرید تمام آن مقدار، با قیمتی کمتر از مبلغ واقعی کالا می‌شود. از طرف دیگر، تأمین‌کننده نیز متعهد می‌گردد، در صورت لزوم و داشتن تقاضایی بیش از مقدار اولیه، حداکثر مقدار سفارشی که سازمان امداد نیاز دارد را در قالب سفارش ثانویه‌ای تأمین کند. جوهن و گورمورتی[۹] برای هماهنگی در زنجیره بشردوستانه از قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت به همراه مشوق‌های تخفیف با خرید بازار لحظه‌ای در زنجیره‌های تأمین بشردوستانه برای تهیه مواد کمکی استفاده کردند. همچنین آنها دریافتند که در شرایط بهینه، تهیه مواد کمکی با استفاده از مکانیسم‌های تدارکات متعدد توسط سازمان‌های بشردوستانه، می‌تواند هزینه کل زنجیره تأمین بشردوستانه را کاهش دهد. کیم و هانگ وی[۱۰] قرارداد انعطاف‌پذیری را بین خریدار و تولیدکننده در نظر گرفتند. در این قرارداد، خریدار می‌تواند با توجه به تقاضای مشتری مقدار سفارش را برای دوره دوم مشخص کند، تأمین‌کننده نیز می‌تواند برنامه بهتری برای تولید اضافی خود داشته باشد. آنها عدم اطمینان تقاضای مشتریان را به‌صورت چند سناریو نشان دادند و برای رفع مشکل مبنی بر سناریو از روش پیشگیری تدریجی استفاده کردند. سوکیم و همکاران[۱۱] قرارداد انعطاف‌پذیری کمیتی را در محیطی در نظر گرفتند که دو یا چند تأمین‌کننده ناهمگن به‌صورت دوره‌ای یک محصول واحد را مطابق قرارداد به خریدار تحویل می‌دادند.

چان وچان[۱۲] برای ایجاد سازوکار هماهنگی در زنجیره تأمین توزیع موردنظرشان، از قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت برای مدیریت موجودی استفاده نمودند. آن‌ها با استفاده از شبیه‌سازی در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که استفاده از قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت توانسته تأثیر عدم قطعیت را بر عملکرد سیستم ازجمله هزینه سیستم، هزینه خرده‌فروشی، هزینه تأمین‌کننده، هزینه موجودی و نرخ پر شدن را با موفقیت فیلتر کند. ابراهیمی نسب و همکاران[۱۳] از قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت برای هماهنگ کردن زنجیره تأمین و تسهیم ریسک نامعینی تقاضا بین دو عضو زنجیره استفاده کردند. آنها روشی جدید برای تعیین حدود بالا و پایین قرارداد انعطاف مقداری در این پژوهش ارائه دادند. ترابی و همکاران[۱۴] یک QFC برای هماهنگی تأمین‌کنندگان امداد با سازمان‌های امداد پیشنهاد کردند که سازمان امداد قادر بود سطح موقعیت خود را قبل از آن کاهش دهد و با بهبود سطح پاسخگویی، هزینه کل زنجیره تأمین بشردوستانه را کاهش دهد. آنها یک مدل ریاضی که به سازمان‌های امداد برای تعیین اندازه سفارش اولیه و سفارش‌های ثانویه کمک می‌کرد، ارائه دادند. از نمونه پژوهش‌هایی که از برون‌سپاری در شرایط عادی و بحران استفاده نمودند می‌توان به پژوهش اسماعیلی و همکاران[۱۵] اشاره کرد که در آن یک زنجیره تأمین دوسطحی تحت شرایط عدم قطعیت برای تأمین‌کننده ریسک گریز در نظر گرفته شده است. آنها از برون‌سپاری جهت کاهش تأثیر اختلالات استفاده کردند. یائو و همکاران[۱۶] یک رویکرد هماهنگ دومرحله‌ای برای تعیین مقدار بهینه موجودی فعال با امکان برون‌سپاری را بررسی کردند. وانگ و همکاران[۱۷] یک زنجیره تأمین امداد را از جنبه برون‌سپاری خدمات و پاسخ به بلایا بررسی و روی چهار استراتژی امدادرسانی موجود و پیامدهای عملی آن‌ها تمرکز کردند. آن‌ها دریافتند برون‌سپاری و حمل‌ونقل به یک‌خرده فروش بزرگ می‌تواند وضعیت مدیریت بلایا را کاملاً تغییر دهد. الموکرینی واوی‌ام[۱۸] یک ابزار پشتیبانی تصمیم برای سیاست‌گذاران ایجاد کردند تا ریسک

جدول ۱. خلاصه پیشینه پژوهش.

نویسندگان	سال انتشار	بحران	QFC	سایر قراردادها	برون سپاری	عدم قطعیت	تعداد سطوح	تک‌هدفه	چندهدفه
ابنی و حبیب زاده	۲۰۲۱	*							
اباذری و همکاران	۲۰۲۲	*				*		*	
طلایی و همکاران	۲۰۲۲	*							
علی‌دوست و همکاران	۲۰۲۰	*							*
پاترا وجها	۲۰۲۲	*		*		*	دوسطحی	*	
اسدخانی و همکاران	۲۰۲۲								
چن و همکاران	۲۰۲۱	*		*		*	سه سطحی		*
نیکخو و همکاران	۲۰۱۸	*	*			*	سه سطحی	*	
جوهن و گورمورتی	۲۰۲۱	*	*			*	دوسطحی	*	
کیم وهانگ وی	۲۰۱۲								
سوکیم و همکاران	۲۰۱۴								
چان و چان	۲۰۱۴								
ابراهیمی نسب و همکاران	۲۰۱۷		*			*	دوسطحی	*	
ترابی و همکاران	۲۰۱۸	*	*			*	سه سطحی	*	
اسماعیلی و همکاران	۲۰۲۰	*			*	*	دوسطحی	*	
یائو و همکاران	۲۰۱۸	*			*	*	سه سطحی	*	
وانگ و همکاران	۲۰۱۴								
المولکرینی و واوی ام	۲۰۲۲				*	*	سه سطحی		*
چین و اکسیائو	۲۰۱۵								
حیدری و همکاران	۲۰۲۰		*		*	*	دوسطحی	*	
پژوهش حاضر	۲۰۲۲	*	*		*	*	چهار سطحی		*

درک شده را به‌صورت کمّی مدلسازی و به‌طور مشترک طراحی شبکه و برون‌سپاری لجستیک را بهینه کنند. پژوهش آنها مبتنی بر یک رویکرد چندمرحله‌ای بود که ریسک درک شده را به‌عنوان تابعی از تصمیمات برون‌سپاری با استفاده از قضاوت سیاست‌گذاران کمّی می‌نمود و مشکل بهینه‌سازی چندهدفه را با روش‌های قطعی حل و مرزهای کارآمدی را ایجاد می‌کرد که هزینه کل زنجیره تأمین و ریسک درک شده را متعادل کند. چین واکسیائو[۱۹] مدل‌های بازی در زنجیره تأمین را با عدم قطعیت‌های متعدد توسعه دادند و تأثیر قدرت را در آن بررسی کردند. آنها بیان کردند که وقتی خطر ایجاد اختلال در زنجیره تأمین به‌اندازه کافی زیاد باشد، تولیدکننده فارغ از ظرفیت تولید، تولید خود را به‌طور کامل برون‌سپاری می‌کند. تنها پژوهش موجود در حوزه زنجیره تأمین که قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت را با برون‌سپاری ادغام نموده پژوهش حیدری و همکاران[۲۰] است که یک زنجیره تأمین دوسطحی با یک محصول، تحت تقاضای تصادفی را بررسی کردند. آنها بیان نمودند که در قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت کلاسیک، تولیدکننده متعهد است بیش از سفارش اولیه خود به تقاضاکننده تحویل دهد که در این صورت خطر تولید بیش‌ازحد نیاز وجود دارد. این یک نقص عمده برای تولیدکننده در قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت کلاسیک است. آنها برای رفع این مشکل، قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت با برون‌سپاری را پیشنهاد دادند تا این مشکل برطرف گردد.

مطابق پیشینه پژوهش، تنها پژوهشی که از قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت و برون‌سپاری باهم استفاده نموده است پژوهش حیدری و همکاران[۲۰] می‌باشد که آنها نیز این مورد را در یک زنجیره تجاری بررسی نموده‌اند. به‌طوری‌که زمان و هزینه حمل‌ونقل را هم لحاظ نکرده‌اند و سفارش‌های اولیه و ثانویه را از منظر متفاوتی از این مقاله بررسی نموده‌اند، این در حالی است که در این مقاله سعی می‌شود، علاوه بر ارائه یک مدل ریاضی دو هدفه تصادفی، از قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت و برون‌سپاری در شرایط بحران با تقاضای تصادفی جهت حداقل سازی زمان و هزینه حمل‌ونقل که دقیقاً متناسب با شرایط بحران است، استفاده شود. در جدول ۱ خلاصه پژوهش‌های موردبررسی در این بخش آورده شده است.

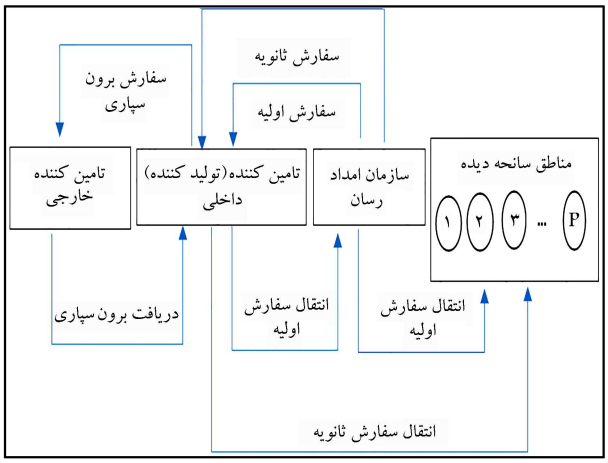
۳. تعریف مسئله

در مسئله موردنظر در این مقاله، سازمان امداد قبل از فاجعه (قبل از مشخص شدن تقاضای واقعی)، به تولیدکننده داخلی سفارش‌ها محصولات مختلف موردنیاز را صادر می‌کند. سفارش‌های اولیه قبل از مشخص شدن تقاضای واقعی مناطق آسیب‌دیده و سفارش‌های ثانویه بعد از مشخص شدن تقاضای واقعی مناطق آسیب‌دیده صادر می‌شوند. در صورتی‌که تولیدکننده داخلی ظرفیت لازم برای تولید اقلام موردنیاز مناطق آسیب‌دیده را نداشته باشد، با استفاده از برون‌سپاری می‌توان این اقلام را تامین کرد. قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت، با تعیین مقدار سفارش بین سازمان امداد و تولیدکننده داخلی نوعی هماهنگی را برای مدیریت موجودی در نظر می‌گیرد. در این قرارداد، دو پارامتر تنظیم روبه بالا و تنظیم روبه پایین برای تنظیم موجودی وجود دارند و تحت این قرارداد، سازمان امداد این امکان را دارد که به‌اندازه حداقل تعهد خود، که براساس پارامتر تنظیم رو به پایین مشخص می‌شود، خرید کند. همچنین، طبق این قرارداد، تولیدکننده داخلی به‌اندازه حداکثر تعهد خود که براساس پارامتر تنظیم روبه بالا تعیین می‌شود، باید تولید کند. حداکثر تعهد نشان می‌دهد تولیدکننده داخلی حداکثر چه مقدارکالا بیش از سفارش اولیه می‌تواند تولید کند. به‌بیان دیگر،

این قرارداد یک حداقل تعهد برای سازمان امداد و یک حداکثر تعهد برای تولیدکننده داخلی را به‌گونه‌ای در نظر می‌گیرد که در شرایط بحران، مجموع هزینه‌ها کمینه گردد و امدادرسانی سریع‌تر انجام شود. علاوه بر این، برای نزدیک‌تر شدن به شرایط دنیای واقعی، ظرفیتی برای تولیدکننده داخلی در نظر گرفته‌ایم و در شرایطی که مجموع سفارش‌ها بیش از ظرفیت تولیدکننده داخلی باشد، این تولیدکننده می‌تواند بخشی از تعهدات خود را از طریق برون‌سپاری تهیه کند. شایان ذکر است که ظرفیت تولیدکننده داخلی بیشتر از حداکثر تعهدی است که در ابتدا به سازمان امدادرسان داده است. بدیهی است که اگر مقدار سفارش اولیه سازمان امداد، کمتر از تقاضای مناطق آسیب‌دیده باشد، سازمان امداد برای تأمین تقاضای مناطق آسیب‌دیده سفارش ثانویه‌ای به تولیدکننده داخلی خواهد داد. همچنین، با توجه به اینکه سفارش ثانویه بعد از بحران و پس از مشخص شدن تقاضای واقعی مناطق آسیب‌دیده مشخص می‌شود، به‌منظور امدادرسانی سریع‌تر سفارش‌های ثانویه به‌طور مستقیم از تولیدکننده داخلی به نقاط آسیب دیده حمل می‌شوند. همچنین، در صورتی‌که تقاضا بیشتر از ظرفیت تولیدکننده داخلی باشد، تولیدکننده بخشی از سفارش‌هایی که ظرفیت تأمین آنها را ندارد از تأمین‌کننده خارجی تهیه می‌کند، اما درصورتی‌که تقاضا کمتر از سفارش اولیه سازمان امداد باشد، به‌دلیل اینکه تولیدکننده داخلی به‌اندازه حداکثر تعهد خود باید تولید کند، تولیدکننده داخلی هزینه نگهداری بابت اقلام تولیدی که خریداری نیز نشده می‌پردازد. همچنین، در این شرایط اگر تقاضا کمتر از حداقل تعهد سازمان امداد نیز باشد، به سازمان امداد هزینه نگهداری تحمیل خواهد شد. چون درهرصورت میزانی که در انبار خود نگهداری نموده است، به‌اندازه حداقل تعهد خود در قرارداد می‌باشد. در مسئله موردنظر با توجه به قرار داشتن در شرایط بحران و نامشخص بودن تقاضای دقیق مناطق آسیب‌دیده، تقاضا به‌صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده است و عدم قطعیت موردنظر براساس سه سناریو به‌صورت فاجعه با عمق کم، فاجعه با عمق متوسط و فاجعه با عمق زیاد در نظر گرفته شده است. شکل ۱ نمایی از زنجیره تأمین مطرح شده رانشان می‌دهد.

۱.۳. مدل‌سازی

در این بخش، به ارائه یک مدل ریاضی کاملاً جدید (و نه صرفاً توسعه یک مدل ریاضی) پرداخته خواهد شد، به‌طوری که مدل اولیه یک مدل غیرخطی عدد صحیح بوده و با تکیه‌بر اصول خطی‌سازی، به مدل خطی عدد صحیح تبدیل خواهد شد؛



شکل ۱. نمایی از زنجیره تأمین امداد.

اما پیش از هر چیز لازم است مفروضات و همچنین متغیرها، پارامترها و سایر موارد ضروری تعریف گردند.

۱.۱.۳. مفروضات مدل

مفروضات استفاده شده در این تحقیق به‌صورت زیر است:

۱. زنجیره تأمین چهارسطحی شامل تولیدکننده داخلی و خارجی، سازمان امدادرسان، نقاط تقاضا (نقاط حادثه دیده) است؛

۲. سفارش ثانویه به‌صورت مستقیم از تولیدکننده داخلی به نقاط تقاضا حمل می‌شوند؛

۳. اقلام امدادی توسط سازمان امداد در مراحل قبل و بعد از فاجعه خریداری می‌شوند؛

۴. ظرفیت تولیدکننده داخلی بیشتر از حداکثر تعهد تولیدکننده داخلی است؛

۵. سازمان امداد قبل از وقوع فاجعه به تولیدکننده داخلی سفارش می‌دهد و تولیدکننده داخلی حداکثر به‌اندازه ظرفیت خود تولید می‌کند؛

۶. سازمان امداد متعهد می‌شود که حداقل به‌اندازه حداقل تعهد خود از تولیدکننده داخلی خرید کند؛

۷. در مدل پیشنهادی، چند نوع محصول در نظر گرفته می‌شود؛

۲.۱.۳. علائم ریاضی

- **اندیس‌ها**

P: نقاط تقاضا (آسیب دیدگان)؛

f: نوع محصول؛

s: سناریو.

- **پارامترها**

V_f: قیمت خرید محصول f از تأمین‌کننده خارجی؛

W_f: قیمت خرید محصول f توسط سازمان امداد؛

C_f^{in}: هزینه تولید محصول f توسط تولیدکننده داخلی؛

S_{ext}^{in}: هزینه حمل‌ونقل از تأمین‌کننده خارجی به تولیدکننده داخلی؛

$S_{p۱}$: هزینه حمل‌ونقل از تولیدکننده داخلی به نقطه تقاضای p؛

$S_{ngo۱}$: هزینه حمل‌ونقل از تولیدکننده داخلی به سازمان امداد؛

S_{ngop}: هزینه حمل‌ونقل از سازمان امداد به نقطه تقاضای p؛

I_f: هزینه نگهداری محصول f در انبار تولیدکننده داخلی؛

T_{ext}: زمان حمل‌ونقل از تأمین‌کننده خارجی به تولیدکننده داخلی؛

$T_{in\ f}$: زمان تولید محصول f توسط تولیدکننده داخلی؛

$T_{ngo۱}$: زمان حمل‌ونقل از تولیدکننده داخلی به سازمان امداد؛

T_p: زمان حمل‌ونقل از تولیدکننده داخلی به نقطه تقاضای p؛

$Tngo\ p$: زمان حمل‌ونقل از سازمان امداد به نقطه تقاضای p؛

h_f: هزینه نگهداری محصول f در انبار سازمان امداد؛

D_{fps}: تقاضای محصول f در منطقه p تحت سناریو s؛

A_{fp}: مقدار محصول f که از تولیدکننده داخلی به نقطه تقاضای p در سناریو s ارسال می‌شود؛

N_f: ظرفیت تولید محصول f توسط تولیدکننده داخلی؛

α: پارامتر تنظیم روبه بالا در قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت؛

β: پارامتر تنظیم روبه پایین در قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت.

- **متغیرها**

Y_{fs}: متغیری است که اگر تقاضای محصول f بیشتر از ظرفیت تولید محصول f توسط تولیدکننده داخلی در سناریو s باشد برابر ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ می‌شود؛

K_{fs}: متغیری است که اگر تقاضای محصول f بیشتر از مقدار سفارش اولیه سازمان امداد برای محصول f در سناریو s باشد یک، در غیر این صورت برابر ۰ می‌شود؛

X_{fs}: متغیری است که اگر تقاضای محصول f بیشتر از حداقل تعهد سازمان امداد برای محصول f در سناریو s باشد برابر ۱، در غیر این صورت برابر ۰ می‌شود؛

q_f: سفارش اولیه سازمان برای محصول f؛

Mo_{fs}: مقدار محصول f که از طریق برون‌سپاری تأمین می‌شود؛

در این مدل، اجزای توابع هدف به‌صورت زیر معرفی می‌گردد:

Tc_1: هزینه کل خرید از تامین کننده خارجی؛

Tc_2: هزینه کل حمل ونقل از تامین کننده خارجی به تولیدکننده داخلی؛

Tc_3: هزینه کل تولید اقلام توسط تولیدکننده داخلی؛

Tc_4: هزینه کل حمل ونقل از تولیدکننده داخلی به نقاط تقاضا؛

Tc_5: هزینه کل حمل ونقل از تولیدکننده داخلی به سازمان امدادرسان؛

Tc_6: هزینه کل خرید اقلام توسط سازمان امدادرسان؛

Tc_7: هزینه کل نگهداری سازمان امداد؛

Tc_8: هزینه کل نگهداری تولیدکننده داخلی؛

Tc_9: هزینه کل حمل ونقل از سازمان امداد به نقاط تقاضا؛

T_{t_1}: زمان کل حمل ونقل از تامین کننده خارجی به تولید کننده داخلی؛

T_{t_2}: زمان کل تولید اقلام توسط تولیدکننده داخلی؛

T_{t_3}: زمان کل حمل ونقل به نقاط تقاضا.

۳.۱.۳. مدل‌های ریاضی غیرخطی و خطی ارائه شده

در این قسمت، ابتدا مدل غیرخطی و سپس خطی سازی شده آن ارائه می‌گردد:

$$Tc_1 = \sum_{f=1}^{F}\sum_{s=1}^{S} p_s.(v_f.Mo_{fs})$$

$$Tc_2 = \sum_{f=1}^{F}\sum_{s=1}^{S} p_s.(s_{extin}.Mo_{fs})$$

$$Tc_3 = \sum_{f=1}^{F}\sum_{s=1}^{S} p_s.(c_{\inf}.(\sum_{p=1}^{P} D_{fps}.k_{fs}.(1-y_{fs}) + (1+\alpha).q_f.(1-k_{fs}) + N_f.k_{fs}.y_{fs}))$$

$$Tc_4 = \sum_{f=1}^{F}\sum_{s=1}^{S} p_s.\sum_{p=1}^{P}(s_{p1}.A_{fp}.k_{fs})$$

$$Tc_5 = \sum_{s=1}^{S}\sum_{f=1}^{F} p_s.(s_{ngo1}.(1+\alpha).q_f.k_{fs} + \sum_{p=1}^{P} D_{fps}.(1-k_{fs}).x_{fs} + (1-\beta).q_f.(1-x_{fs}))$$

$$Tc_6 = \sum_{f=1}^{F}\sum_{s=1}^{S} p_s.(w_f. \sum_{p=1}^{P}(D_{fps}.x_{fs} + (1-\beta).q_f.(1-x_{fs})))$$

$$Tc_7 = \sum_{f=1}^{F}\sum_{s=1}^{S} p_s.(h_f.[(1-\beta).q_f.(1-k_f).(1-x_{fs}) + [(1+\alpha).q_f - \sum_{p=1}^{P} D_{fps}].x_{fs}.(1-k_{fs})])$$

$$Tc_8 = \sum_{f=1}^{F}\sum_{s=1}^{S} p_s.(I_f.[((1+\alpha)-(1-\beta)).q_f .(1-k_{fs}).(1-x_{fs}) + (1+\alpha).q_f - \sum_{p=1}^{P} D_{fps}.x_{fs}.(1-k_{fs})])$$

$$Tc_9 = \sum_{f=1}^{F}\sum_{s=1}^{S} p_s.(\sum_{p=1}^{P} s_{ngop}.(D_{fps}.(1-k_{fs}) + ngp_{fps}.k_{fs}))$$

$$MinZ_1 = Tc_1 + Tc_2 + Tc_3 + Tc_4 + Tc_5 + Tc_6 + Tc_7 + Tc_8 + Tc_9 \quad (1)$$

$$Tt_1 = \sum_{f=1}^{F}\sum_{s=1}^{S} Ps.(Text.yfs)$$

$$Tt_2 = \sum_{f=1}^{F}\sum_{s=1}^{S} P_s.[T_{inf}(\sum_{p=1}^{P} Dfps.kfs.(1-yfs) + (1+\alpha).qf.(1-kfs) + Nf.kfs.yfs)]$$

$$Tt_3 = \sum_{f=1}^{F}\sum_{s=1}^{S} p_s.(\sum_{p=1}^{P} Tp.kfs)$$

$$MinZ_2 = Tt_1 + Tt_2 + Tt_3 \quad (2)$$

$$(1+\alpha).q_f \le N_f \qquad \forall f \quad (3)$$

$$(\sum_{p=1}^{P} D_{fps} - N_f).y_{fs} = Mo_{fs} \qquad \forall f,s \quad (4)$$

$$y_{fs} \le k_{fs} \qquad \forall f,s \quad (5)$$

$$\sum_{p=1}^{P} D_{fps} + bigM.(1-y_{fs}) \ge N_f \qquad \forall f,s \quad (6)$$

$$\sum_{p=1}^{P} D_{fps} - bigM.y_{fs} \le N_f \qquad \forall f,s \quad (7)$$

$$q_f \ge G_f \qquad \forall f \quad (8)$$

$$\sum_{p=1}^{P} D_{fps} + bigM.(1-x_{fs}) \ge (1-\beta).q_f \qquad \forall f,s \quad (9)$$

$$\sum_{p=1}^{P} D_{fps} - bigM.x_{fs} \le (1-\beta).q_f \qquad \forall f,s \quad (10)$$

$$x_{fs} \ge k_{fs} \qquad \forall f,s \quad (11)$$

$$\sum_{p=1}^{P} D_{fps} + bigM.(1-k_{fs}) \ge (1+\alpha).q_f \qquad \forall f,s \quad (12)$$

$$\sum_{p=1}^{P} D_{fps} - bigM.k_{fs} \le (1+\alpha).q_f \qquad \forall f,s \quad (13)$$

$$\sum_{p=1}^{P} ngp_{fps} = (1+\alpha).q_f.k_{fs} \quad \forall f,s \tag{۱۴}$$

$$D_{fps}.(1-k_{fs}) + ngp_{fps}.k_{fs} + A_{fps}.k_{fs} \geq D_{fps} \ \forall f,p,s \tag{۱۵}$$

$$x_{fs}, y_{fs}, k_{fs} \in \{0, 1\} \quad \forall f,s \tag{۱۶}$$

$$Mo_{fs}, q_f \geq 0, \text{int } eger \ \forall f,p,s \tag{۱۷}$$

در مدل موردنظر، عبارت ۱ مجموع هزینه‌هایی را که شامل هزینه خرید اقلام برون‌سپاری شده توسط تولیدکننده داخلی، هزینه حمل از تأمین‌کننده خارجی به تولیدکننده داخلی، هزینه تولیدات تولیدکننده داخلی، هزینه حمل از تولیدکننده داخلی به نقاط تقاضا، هزینه خرید سفارش‌ها توسط سازمان امداد، هزینه حمل سفارش‌های از تولیدکننده داخلی به سازمان امداد، هزینه نگهداری موجودی در سازمان امداد، هزینه نگهداری موجودی در تولیدکننده داخلی و هزینه حمل سفارش‌های از سازمان امداد به نقاط تقاضا است، کمینه می‌کند. عبارت ۲ مجموع زمان‌های حمل‌ونقل از تأمین‌کننده خارجی به تولیدکننده داخلی و زمان تولید اقلام توسط تولیدکننده داخلی را به‌منظور امدادرسانی سریع‌ترکمینه می‌نماید. عبارت ۳ مربوط به ظرفیت تولیدکننده داخلی است که نشان می‌دهد تولیدکننده داخلی حداقل به‌اندازه ظرفیت خود متعهد می‌شود. عبارت ۴ مقدار برون‌سپاری را مشخص می‌کند. عبارت ۵ ارتباط بین دو متغیر باینری را نشان می‌دهد و بیانگر این است که اگر مجموع تقاضاها بیشتر از ظرفیت تولیدکننده داخلی باشد، آنگاه با توجه به محدودیت یک مجموع تقاضاها بیشتر از حداکثر تعهد تولیدکننده داخلی نیز هست. عبارات (۶ و ۷) نشان می‌دهند که اگر مجموع تقاضای نقاط آسیب‌دیده بیشتر از ظرفیت تولیدکننده داخلی باشد، آنگاه برون‌سپاری خواهیم داشت. عبارت ۸ بیانگر حداقل مقدار سفارش سازمان امداد است. عبارات (۹ و ۱۰) نشان می‌دهند که اگر مجموع تقاضاها کمتر از حداقل تعهد سازمان امداد باشد، سازمان امداد هزینه نگهداری می‌پردازد. عبارت ۱۱ بیانگر ارتباط بین دو متغیر باینری است. عبارات (۱۲ و۱۳) نشان می‌دهد که اگر مجموع تقاضاها بیشتر از حداکثر تعهد تولیدکننده داخلی باشد، سفارش ثانویه وجود دارد و در غیر این‌صورت، تولیدکننده داخلی هزینه نگهداری می‌پردازد. عبارت ۱۴ نشان می‌دهد درصورتی که مجموع تقاضاهای مناطق آسیب‌دیده بیشتر از حداکثر تعهد تولیدکننده داخلی باشد، از سازمان امداد مجموعاً به‌اندازه حداکثر تعهد تولیدکننده داخلی به نقاط آسیب‌دیده حمل می‌شود. عبارت ۱۵ نشان می‌دهد که مجموع مقادیر ارسالی از تولیدکننده داخلی و سازمان امداد به یک نقطه تقاضا حداقل به‌اندازه تقاضای آن نقطه است. عبارات (۱۶و۱۷) بیانگر وضعیت متغیرها هستند.

برای خطی‌سازی مدل مذکور از پژوهش توکلی مقدم و همکاران[۲۱] استفاده شده است.

۴.۱.۳. مدل خطی

$$Tc_{10} = \sum_{f=1}^{F}\sum_{s=1}^{S} p_s.(v_f.Mo_{fs})$$

$$Tc_{11} = \sum_{f=1}^{F}\sum_{s=1}^{S} p_s.(s_{extin}.Mo_{fs})$$

$$Tc_{12} = \sum_{f=1}^{F} (c_{\inf}.[(1+\alpha).q_f + (\sum_{p=1}^{P}\sum_{s=1}^{S} p_s.(D_{fps}.(k_{fs}-t_{fs})) - (1+\alpha).\lambda f + N_f.t_f)])$$

$$Tc_{13} = \sum_{f=1}^{F}\sum_{s=1}^{S} p_s.(sngo1.[(1-\beta).q_f + (1+\alpha)\lambda_{fs} + \sum_{p=1}^{P} D_{fps}.(x_{fs}-E_{fs}) - (1-\beta).(\lambda_{fs}+u_{fs}-r_{fs})])$$

$$Tc_{14} = \sum_{f=1}^{F} (w_f.[(1-\beta).q_f + \sum_{s=1}^{S} p_s.(\sum_{p=1}^{P} D_{fps}.x_{fs} - (1-\beta).u_{fs})])$$

$$Tc_{15} = \sum_{f=1}^{F} h_f.[(1-\beta).q_f + \sum_{s=1}^{S} p_s.[(1-\beta).(-\lambda_{fs}-u_{fs}+r_{fs}) - \sum_{p=1}^{P} D_{fps}.(1-k_{fs}-x_{fs}+E_{fs})]]$$

$$Tc_{16} = \sum_{f=1}^{F} I_f.([(1+\alpha)-(1-\beta)].q_f + \sum_{s=1}^{S} p_s.[((1+\alpha)-(1-\beta)).(-u_{fs}-\lambda_{fs}+r_{fs}) + (1+\alpha).(u_{fs}-r_{fs}) - \sum_{p=1}^{P} D_{fps}.(x_{fs}-E_{fs})])$$

$$Tc_{17} = \sum_{f=1}^{F}\sum_{s=1}^{S} p_s.(\sum_{p=1}^{P} s_{ngop}.(D_{fps}.(1-k_{fs}) + ngp_{fps}))$$

$$MinZ_1 = Tc_{10} + Tc_{11} + Tc_{12} + Tc_{13} + Tc_{14} + Tc_{15} + Tc_{16} + Tc_{17} \tag{۱۸}$$

$$Tt_4 = \sum_{f=1}^{F}\sum_{s=1}^{S} P_s.(T_{ext}.y_{fs})$$

$$Tt_5 = \sum_{f=1}^{F} (T_{\inf}.(1+\alpha).q_f) + \sum_{f=1}^{F}\sum_{s=1}^{S} p_s.(T_{\inf}.(\sum_{p=1}^{P} D_{fps}.(k_{fs}-t_{fs}) - (1+\alpha).\lambda_{fs} + N_f.t_{fs})) \tag{۱۹}$$

$$Tt_6 = \sum_{f=1}^{F}\sum_{s=1}^{S} p_s.(\sum_{p=1}^{P} T_p.\phi_{fps})$$

$$MinZ_2 = Tt_4 + Tt_5 + Tt_6$$

$$Dfps.(1-kfs) + ngpfps + A'fps \geq Dfps \quad \forall f,p,s \tag{۲۰}$$

$$\lambda fs \leq qf \quad \forall f,s \tag{۲۱}$$

$$\lambda fs \leq bigM.kfs \quad \forall f,s \tag{۲۲}$$

$$\lambda fs \geq qf - bigM.(1-kfs) \quad \forall f,s \tag{۲۳}$$

$$ufs \leq qf \quad \forall f,s \tag{۲۴}$$

$$ufs \leq bigM.xfs \quad \forall f,s \tag{۲۵}$$

$$ufs \geq qf - bigM.(1-xfs) \quad \forall f,s \tag{۲۶}$$

$$rfs \leq \lambda fs \quad \forall f,s \tag{۲۷}$$

$$rfs \leq bigM.xfs \quad \forall f,s \tag{۲۸}$$

$$rfs \geq \lambda fs - bigM.(1-xfs) \quad \forall f,s \tag{۲۹}$$

$$tfs \leq kfs \quad \forall f,s \tag{۳۰}$$

$$tfs \leq yfs \quad \forall f,s \tag{۳۱}$$

$$tfs \geq kfs + yfs - 1 \quad \forall f,s \tag{۳۲}$$

$$Efs \leq kfs \quad \forall f,s \tag{۳۳}$$

$$Efs \leq xfs \quad \forall f,s \tag{۳۴}$$

$$Efs \geq kfs + xfs - ۱ \quad \forall f,p,s \tag{۳۵}$$

$$A'fps \leq Afps \quad \forall f,p,s \tag{۳۶}$$

$$A'fps \leq bigM.kfs \quad \forall f,p,s \tag{۳۷}$$

$$A'fps \geq Afps - bigM.(۱ - kfs) \quad \forall f,p,s \tag{۳۸}$$

$$xfs, yfs, kfs, \phi fps \in \{۰, ۱\} \quad \forall f,p,s \tag{۳۹}$$

$$Mofs, qf, Afps, A'fps, ngpfps, tfs, Efs, ufs, rfs, \lambda fs \geq ۰ \quad \forall f,p,s \tag{۴۰}$$

در این مدل متغیرهای پیوسته E_{fs} و t_{fs} برای خطی سازی ضرب دو متغیر باینری درهم و متغیرهای پیوسته λ_{fs}، u_{fs} و r_{fs} برای خطی سازی ضرب متغیرهای باینری در پیوسته استفاده شده است. خطی سازی اهداف اول و دوم به روابط ۱۸ و ۱۹ منجر شده‌اند. عبارت ۱۵ پس از خطی سازی به عبارت ۲۰ تبدیل شده است. عبارات ۲۱ تا ۲۳ مربوط به خطی سازی ضرب متغیر باینری k_{fs} در متغیر پیوسته q_f است. عبارات ۲۴ تا ۲۶ مربوط به خطی سازی ضرب متغیر باینری x_{fs} در متغیر پیوسته q_f، عبارات ۲۷ تا ۲۹ مربوط به خطی سازی ضرب متغیر پیوسته λ_{fs} و متغیر باینری x_{fs}، عبارات (۳۰ تا ۳۲) مربوط به خطی سازی ضرب دو متغیر باینری k_{fs}, y_{fs}، عبارات (۳۳ تا ۳۵) مربوط به خطی سازی ضرب دو متغیر باینری k_{fs} و x_{fs} و عبارات (۳۶ تا ۳۸) مربوط به خطی سازی ضرب متغیر پیوسته A_{fps} در متغیر باینری k_{fs} هستند. عبارات ۳۹ و ۴۰ نیز وضعیت متغیرها را نشان می‌دهند.

۴. روش حل مسئله

در این بخش ابتدا روش مواجهه با عدم قطعیت شرح داده شده و سپس روش اپسیلون محدودیت تقویت شده برای حل مدل دو هدفه ارائه شده است.

۱.۴. روش برنامه‌ریزی تصادفی عدد صحیح

بنا بر فرضیات مسئله، با توجه به قرارگیری در شرایط بحران، تقاضای مناطق آسیب دیده به‌صورت غیرقطعی و با توزیع یکنواخت است. بنابراین، دیگر نمی‌توان از روش‌های قطعی برای حل مسئله استفاده نمود. ازاین‌رو، برای مواجهه با عدم قطعیت موجود، از روش برنامه‌ریزی تصادفی عدد صحیح استفاده می‌شود. در برنامه‌ریزی تصادفی عدد صحیح، برخی متغیرها در مرحله یک یا مرحله دو یا هر دو مرحله عدد صحیح هستند. فرمول‌بندی یک برنامه عدد صحیح دومرحله‌ای مشابه فرمول‌بندی برنامه خطی دومرحله‌ای است. مسئله برنامه‌ریزی خطی تصادفی با بازگشت ثابت، به‌صورت زیر فرمول‌بندی می‌شود:

$$Minz = \phi^{\Gamma}.\varphi + E\zeta[Min\eta(\omega)^{\Gamma}\psi(\omega)] \tag{۴۱}$$

$s.t$

$$A\varphi = b \tag{۴۲}$$

$$\Gamma(\omega)\varphi + w.\psi(\omega) = \rho(\omega) \tag{۴۳}$$

$$\varphi \in \varphi, \psi(\omega) \in \psi \tag{۴۴}$$

به‌طوری که φ یا ψ یا هردو شامل برخی الزامات عدد صحیح یا دودویی بر روی φ یا ψ هستند. با این تعریف، مجدد برنامه معادل قطعی مدل‌بالا به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$Minz = \phi^{\Gamma}.\varphi + \sum_{s} \pi s.Q(\varphi, \zeta s) \tag{۴۵}$$

$s.t$

$$\Gamma s\varphi + ws.\psi s = \rho s \tag{۴۶}$$

$$\varphi \geq ۰, \psi \geq ۰ \tag{۴۷}$$

رابطه ۴۱ پس از اعمال تغییرات به‌صورت رابطه ۴۵ بازنویسی شده است و رابطه ۴۲ بدون تغییر می‌ماند. رابطه ۴۳ به رابطه ۴۶ تبدیل شده است و همچنین، رابطه ۴۷ وضعیت متغیرها را نشان می‌دهد. در رابطه بالا فرض شده است ξ گسسته و تابعی از s است که S مجموعه‌ای متناهی از سناریوهای ممکن می‌باشد. به‌طوری که هر سناریو بیانگر حالتی از پارامترهای تصادفی است و احتمال وقوع sامین ξ برابر با π_s در نظرگرفته می‌شود ($\sum_{s=۱}^{S} \pi_s = ۱$) آذر و فرخ.[۲۲]

۲.۴. روش اپسیلون محدودیت تقویت شده

در این پژوهش، برای حل مدل دو هدفی فوق از روش اپسیلون محدودیت تقویت شده استفاده شده است. روش اپسیلون محدودیت یکی از رویکردهای شناخته شده برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه است که با انتقال تمام توابع هدف به‌جز یکی از آنها در هر مرحله به محدودیت، به حل مسئله می‌پردازد. درروش محدودیت اپسیلون، فرایند بهینه‌سازی فقط برای یکی از توابع هدف انجام می‌شود، درحالی‌که توابع هدف دیگر به کران‌های بالای خود می‌رسند؛ بنابراین هیچ تضمینی برای کارا بودن راه‌حل‌های تولید شده وجود ندارد و ممکن است راه‌حل‌های ناکارآمد تولید شود. علاوه بر این ممکن است برخی از جواب‌های تولید شده یکدیگر را مغلوب کنند که این مقوله می‌تواند تا اندازه زیادی از کارایی روش محدودیت اپسیلون بکاهد. در سال‌های اخیر رویکردهای بهبودیافته‌ای از روش محدودیت اپسیلون ارائه شده است تا بتواند برخی از کاستی‌های این روش را برطرف نماید. در روش بهبودیافته، ابتدا با اضافه کردن متغیرهای کمبود مثبت (متغیرهای مازاد برای مسائل بیشینه‌سازی) محدودیت‌های نامساوی توابع هدف به محدودیت‌های مساوی تبدیل می‌شوند، سپس با افزودن مجموع متغیرهای کمبود به تابع هدف اصلی به حل مدل می‌پردازد و این کارایی روش تقویت شده است.

مدل مسئله بهینه‌سازی چندهدفه به‌صورت رابطه ۴۸ است:

$$Min(f_۱(x), f_۲(x), ..., f_n(x)) \quad x \in X \tag{۴۸}$$

با استفاده از روش AEC مدل به‌صورت زیر بازنویسی می‌گردد:

$$M\inf_{۱}(x) - \sum_{i=۲}^{n} \vartheta_i s_i \tag{۴۹}$$

$$f_۱(x) + s_i = e_i \quad i = ۲, ۳, ..., n \tag{۵۰}$$

$$x \in X, s_i \geq ۰ \tag{۵۱}$$

به‌طوری که رابطه ۴۹ هدف مسئله، رابطه ۵۰ محدودیت مسئله و رابطه ۵۱ وضعیت متغیرها را نشان می‌دهد s_iها متغیرهای نامنفی کمکی و ϑ_i یک پارامتر برای

نرمال‌سازی اهداف هستند. با به دست آوردن ماتریس پیامد اهداف، چندین مقدار مختلف $e \in [\min(f_i), \max(f_i)]$ انتخاب می‌شود و جبهه پارتو به این روش به دست می‌آید (ماورتورس وکوستاس[۲۳]).

۵. نتایج عددی

در این بخش، در ابتدا یک مثال عددی حل و سپس حساسیت مدل موردنظر تحلیل شده است:

در این مثال، سازمان امداد قبل از وقوع فاجعه به‌اندازه q واحد به تولیدکننده داخلی سفارش می‌دهد، مطابق قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت، تولیدکننده داخلی متعهد می‌شود که به‌اندازه $\alpha = ۰/۱$ بیشتر از سفارش اولیه سازمان امداد تولید کند و سازمان امداد متعهد می‌شود که حداکثر به‌اندازه $\beta = ۰/۲$ کمتر از سفارش اولیه خود خرید کند. تقاضای واقعی هر محصول در هر منطقه براساس سه سناریو: ۱. فاجعه با عمق کم ۲. فاجعه با عمق متوسط. ۳. فاجعه با عمق زیاد به‌صورت جدول ۲ است. شایان ذکر است که پارامترهای اولیه قرارداد از منبع حیدری و همکاران[۲۰] استفاده شده و سایر اعداد به‌صورت تصادفی تولید شده است.

ظرفیت تولیدکننده داخلی برای تولید محصول یک ۲۰۰ واحد و برای محصول دو ۱۸۰ واحد، هزینه تولید محصول یک در داخل ۳۵ و هزینه تولید محصول دو ۵۰ است. احتمال رخ داد سناریوها به‌ترتیب ۰/۲۵، ۰/۳ و ۰/۴۵ در نظر گرفته شده است. در جدول ۳، مقادیر پارامترها در حالت اصلی نشان داده شده است که در بخش‌های بعدی، این پارامترها تحلیل خواهند شد.

پس از حل مثال موردنظر، براساس نتایج حاصل از نرم‌افزار GAMS و سولور CPLEX، مجموع هزینه‌ها برابر ۵۴۵۵۰/۲۵ و مجموع زمان‌ها برابر ۱۳۵۲۲/۵ است. همچنین مشاهده می‌شود که اگر سازمان امداد قبل از وقوع فاجعه به‌اندازه ۱۰۰ واحد از محصول یک و ۷۰ واحد از محصول دو به تولیدکننده داخلی سفارش

جدول ۲. تقاضای مناطق آسیب دیده برای هر محصول در هر سناریو.

D_{fps}	$S=۱$	$S=۲$	$S=۳$
$f=۱,p=۱$	۴۰	۵۰	۸۰
$f=۱,p=۲$	۵۰	۸۰	۱۰۰
$f=۱,p=۳$	۲۰	۴۰	۷۰
$f=۲,p=۱$	۴۰	۴۰	۸۰
$f=۲,p=۲$	۳۲	۳۲	۶۴
$f=۲,p=۳$	۴۵	۴۵	۹۰

جدول ۳. پارامترهای مسئله.

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
$S_{ngo۱}$	۱۲۰	$T_{ngo}(۱,۲,۳)$	(۱۱۵, ۱۲۰, ۱۲۵)
T_{ext}	۱۵۰	$T(۱,۲,۳)$	(۱۱۲, ۱۱۵, ۱۱۷)
$T_{ngo۱}$	۲۰	$V_۱, V_۲$	(۱۲/۵, ۱۵)
S^{in}_{ext}	۲۰	$W_۱, W_۲$	(۵, ۱۰)
$S_۱(۱,۲,۳)$	(۲۰, ۲۵, ۳۰)	$H_۱, H_۲$	(۷, ۱۰)
$S_{ago}(۱,۲,۳)$	(۲۰, ۲۵, ۳۰)	$I_۱, I_۲$	(۵, ۱۰)
$T_{in}(۱,۲)$	(۵۰, ۳۰)	$G_۱, G_۲$	(۷۰, ۹۰)

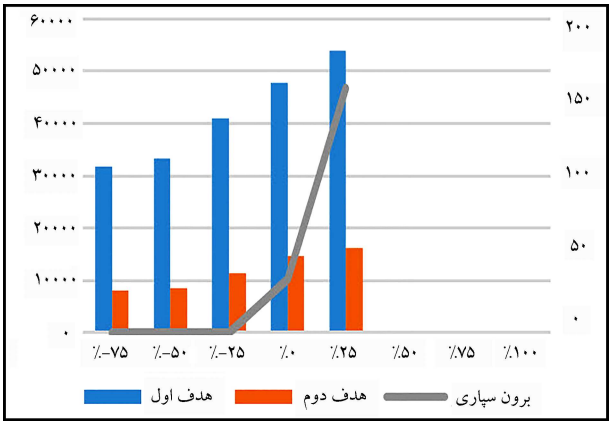
دهد، در زمان وقوع فاجعه با عمق زیاد برای محصول یک ۵۰ واحد و محصول دوم ۵۴ واحد برون‌سپاری وجود دارد.

در این بخش، با تغییر پارامترهای مسئله رفتار هدف یک و دوم و متغیرهای مدل بررسی می‌شود.

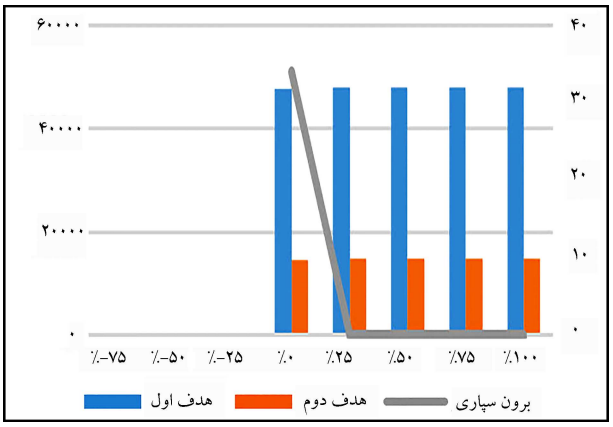
در نمودار ۱، مثال موردنظر را با تغییر ۲۵ درصدی هر بار تقاضا بررسی می‌شود. نمودار ۱ نشان می‌دهد که با کاهش تقاضا مجموع هزینه‌ها، مجموع زمان‌ها و برون‌سپاری کاهش می‌یابد و از کاهش ۲۵٪- به پایین، مقدار برون‌سپاری صفر می‌شود و این امر منطقی است زیرا درصورتی که تقاضا کم باشد تولیدکننده داخلی بدون استفاده از برون‌سپاری توانایی تأمین اقلام در داخل را دارد.

در نمودار ۲، با تغییر ۲۵ درصدی هر بار ظرفیت تولیدکننده داخلی، تغییرات مجموع هزینه‌ها، زمان‌ها و برون‌سپاری در مثال موردنظر، ارائه شده است. در این تغییرات، ظرفیت تولیدکننده داخلی برای تولید هر محصول کاهش و افزایش داده شده است. همان‌طور که مشخص است، افزایش مقدار ظرفیت تولیدکننده داخلی برای هر محصول باعث افزایش مقادیر توابع هدف و کاهش مقدار برون‌سپاری می‌شود و کاهش آن بعد از درصد موجب ناممکن شدن مسئله می‌شود و این امر منطقی است، زیرا با کاهش ظرفیت تولیدکننده داخلی، امکان تأمین اقلام توسط تولیدکننده داخلی فراهم نیست.

تأثیر تغییرات زمان حمل‌ونقل از تأمین‌کننده خارجی به تولیدکننده داخلی بر روی مقادیر دو هدف در نمودار ۳ نشان داده شده است. در این تغییرات، همه محصولات



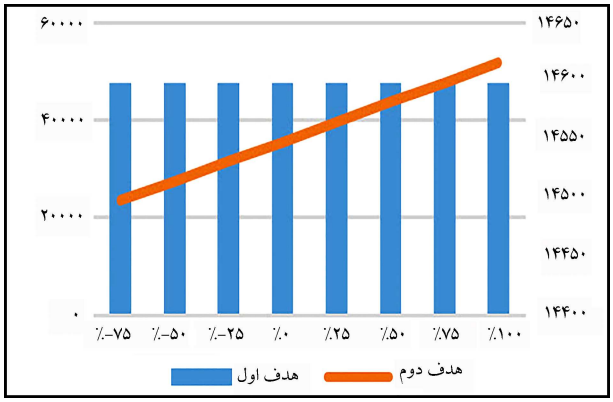
نمودار ۱. بررسی اثر تقاضا بر مقادیر هدف و برون‌سپاری.



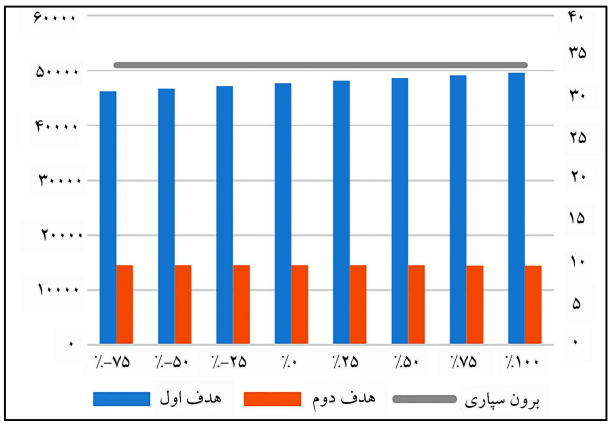
نمودار ۲. بررسی اثر تغییر ظرفیت تولیدکننده داخلی بر مقادیر هدف برون‌سپاری.

جدول ۴. اثر تغییر ابعاد مسئله در زمان حل مسئله.

مسئله	تعداد نقاط تقاضا	تعداد محصول	هدف اول (دلار)	هدف دوم (ثانیه)	زمان حل (ثانیه)
۱	۳	۲	۴۷۶۹۹/۵	۱۴۵۴۸/۴	۱/۰۶۳
۲	۳	۳	۴۹۸۲۷	۱۵۸۸۹	۴/۶۵۶
۳	۵	۴	۱۳۷۴۷۴/۴	۶۵۲۹۰/۵۵۰	۱۰/۲۱۸
۴	۶	۵	۱۴۲۰۱۹/۹	۵۷۵۶۹/۵۵	۲۹/۴۸۴
۵	۱۲	۸	۴۱۸۳۶۲/۸	۱۸۲۶۴۷/۴۵	۵۰۹/۸۷۵
۶	۲۰	۱۵	۲۱۲۴۲۵۸/۸	۱۶۵۵۶۸۳/۴	۹۳۴/۰۳۲
۷	۱۵	۱۰	-	-	-



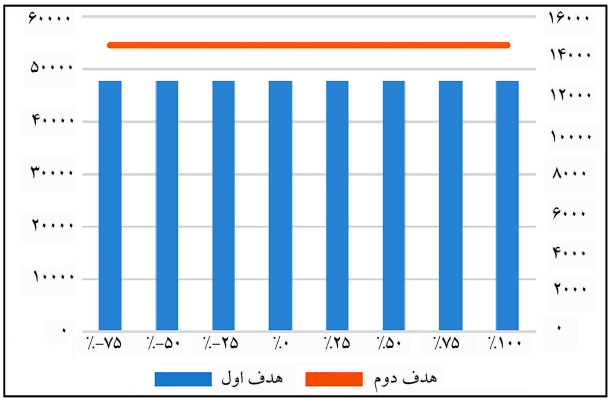
نمودار ۳. اثر تغییر زمان حمل‌ونقل از تأمین‌کننده خارجی به تولیدکننده داخلی بر دو تابع هدف.



نمودار ۴. اثر تغییر پارامتر تنظیم روبه بالا در قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت بر مقادیر هدف و برون‌سپاری.

در یک زمان از تأمین‌کننده خارجی به تولیدکننده داخلی حمل می‌شوند که به‌صورت هم‌زمان برای همه اقلام کاهش یا افزایش داشته است. افزایش زمان حمل اقلام از تأمین‌کننده خارجی به تولیدکننده داخلی موجب افزایش هدف دو (مجموع زمان‌ها) می‌شود.

در نمودار ۴، اثر تغییر پارامتر تنظیم روبه بالا (α)، بر مقادیر هدف بررسی می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود با توجه به اینکه تولیدکننده داخلی متعهد می‌شود حداقل به‌اندازه α درصد بیشتر از سفارش سازمان امداد تولید کند، با افزایش این پارامتر هدف یک (مجموع هزینه‌ها) افزایش می‌یابد، هدف دو با افزایش این پارامتر



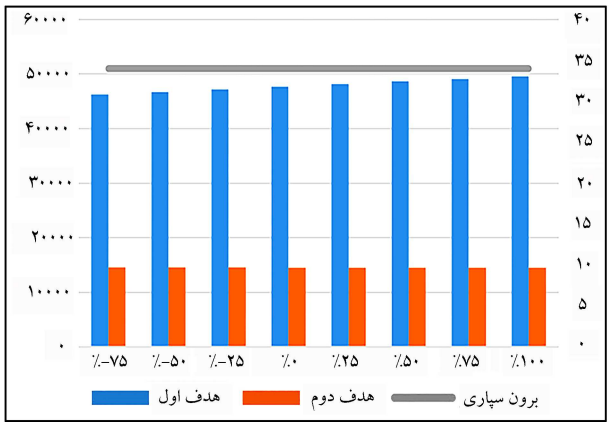
نمودار ۵. اثر تغییر پارامتر تنظیم روبه پایین در قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت بر هدف یک.

روندی ثابت دارد. لذا با افزایش تعهدات تولیدکننده داخلی دیگر سفارش ثانویه وجود ندارد و در نتیجه زمان حمل از تولیدکننده داخلی به نقاط تقاضا وجود نخواهد داشت. همچنین، با افزایش تعهدات تولیدکننده داخلی امکان تأمین مجموع تقاضاها در داخل وجود دارد و برون‌سپاری وجود ندارد، درنتیجه زمان حمل از تأمین‌کننده خارجی به داخلی وجود ندارد، به‌همین دلیل افزایش پارامتر α تأثیری در مجموع زمان‌ها ندارد.

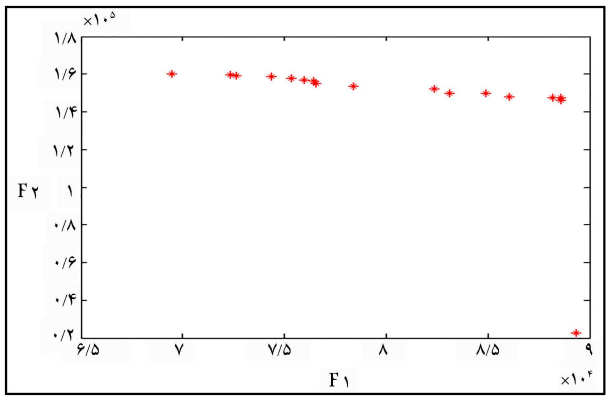
در نمودار ۵، اثر تغییر پارامتر تنظیم روبه پایین در قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت بر هدف اول (مجموع هزینه‌ها) و هدف دو (مجموع زمان‌ها) بررسی می‌شود. با توجه به اینکه این پارامتر حداقل تعهد سازمان امداد برای خرید اقلام را مشخص می‌کند، با افزایش این پارامتر، میزان تعهد سازمان امداد برای خرید اقلام کمتر می‌شود. درنتیجه با توجه به مسئله اصلی موردبررسی، منطقی است که هدف اول (مجموع هزینه‌ها) و هدف دوم (مجموع زمان‌ها) ثابت بماند.

در نمودار ۶، اثر تغییر هم‌زمان پارامترهای قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت بر مقادیر هدف بررسی می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش پارامترهای قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت، هدف اول که مجموع هزینه‌ها است، افزایش می‌یابد و هدف دوم که کمینه کردن مجموع زمان‌هاست، ثابت می‌ماند. زیرا با افزایش پارامتر تنظیم رو به بالا، تعهد تولیدکننده داخلی بیشتر شده و در نتیجه با افزایش تولید هزینه‌ها نیز افزایش می‌یابند. با توجه به شرایط مثال موردنظر، نتایج به‌دست آمده منطقی است.

در جدول ۴، اثر تغییر ابعاد مسئله در زمان حل مسئله بررسی می‌گردد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش ابعاد مسئله تابع هدف اول و تابع هدف دوم که به‌ترتیب



نمودار ۶. اثر تغییر هم‌زمان پارامترهای قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت بر مقادیر هدف و برون‌سپاری.



نمودار ۷. نمونه‌ای از مرز پاراتوی حاصل برای این مسئله.

کمینه کردن مجموع هزینه‌ها و مجموع زمان‌ها هستند، افزایش می‌یابند. همچنین، با افزایش ابعاد مسئله، زمان حل مسئله نیز افزایش می‌یابد. شایان ذکر است که این محاسبات با استفاده از لپ‌تاپی با مشخصات core i۳, ideapad ۳۲۰ و RAM ۸GB انجام شده است.

نمودار ۷، نمونه‌ای از مرز پاراتوی این مسئله را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است، با افزایش هدف اول (هزینه‌های کل)، هدف دوم (مجموع زمان‌ها) کاهش می‌یابد و با کاهش این هزینه‌ها، زمان کل افزایش می‌یابد، که یک روند کاملاً منطقی در مسائل دوهدفه می‌باشد.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

در این مقاله، به‌منظور ایجاد هماهنگی در تهیه و توزیع اقلام امدادی در شرایط بحران، برای امدادرسانی با کمترین هزینه و سریع‌ترین زمان، یک مدل ریاضی ارائه گردید. برای ایجاد این هماهنگی، از قرارداد انعطاف‌پذیری کمیت بین سازمان امداد و تولیدکننده داخلی استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که امضای قرارداد بین تولیدکننده داخلی و سازمان امداد می‌تواند منجر به رضایت بیشتر نقاط تقاضا در شرایط بحران یا کاهش موارد استفاده نشده بعد از بحران شود. همچنین مشاهده شد که در صورت ناکافی بودن ظرفیت تولید داخل برای یک محصول، آن محصول از تأمین‌کننده خارجی تأمین می‌شود. در واقع استفاده از برون‌سپاری می‌تواند باعث امدادرسانی سریع‌تر شود. در این پژوهش، یک زنجیره تأمین چهار سطحی برای تأمین و توزیع چند محصول، ارائه شد.

برای تحلیل، مدل ارائه شده با ۷ مثال آزمایش شد که همگی اعتبار مدل را نشان دادند. طبق تحلیل‌های انجام شده، مشخص گردید که مدل از منظر پارامترهای تقاضا و ظرفیت تولیدکننده داخلی حساسیت بیشتری از خود نشان می‌داد. در این پژوهش، برای مواجهه با عدم قطعیت پارامتر تقاضا از روش برنامه‌ریزی تصادفی عدد صحیح استفاده شده است. به‌عنوان یک تحقیق در آینده، می‌توان از سایر قراردادها مانند قرارداد تخفیف و قرارداد تقسیم هزینه و موارد دیگر برای ایجاد هماهنگی، استفاده کرد. به‌عنوان نوآوری دیگر، برای نزدیک شدن شرایط مسئله به واقعیت می‌توان ظرفیت تولیدکننده داخلی را غیرقطعی در نظر گرفت و همچنین تعداد تولیدکننده داخلی را افزایش تا امدادرسانی سریع‌تر انجام شود. حل مدل در ابعاد بزرگ و توسعه روش‌های ابتکاری و فرابتکاری نیز از پیشنهادهایی است که می‌تواند در پژوهش‌های آتی استفاده شود.

پانوشت

1. Quantity Flexibility Contract (QFC)

منابع (References)

1. Abni, M. and Naisani Habib Abadi, M., 2021. The role of the humanitarian supply chain in crisis management. *International Conference on New Challenges and Solutions in Industrial Engineering and Management*, pp.1-5. [In Persian].
2. Abazari, S.R., Jolai, F. and Aghsami, A., 2022. Designing a humanitarian relief network considering governmental and non-governmental operations under uncertainty. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, *13*(3), pp.1430-1452. https://doi.org/10.1007/s13198-021-01488-y.
3. Talai, Hajian, and Aghaei., 2022. The role of integration and coordination of efforts in the supply chain of humanitarian services (case study: Isfahan Red Crescent Society). *Coaching in Productivity Management and Development*, *1*(1), pp.46-58. [In Persian]. doi: 10.22034/jcmpd.2022.551115.1010.
4. Ali Doust, B. and Safari, H., 2020. multi-objective mathematical modeling of emergency drug supply chain (case study: Earthquake crisis in Tehran). *Industrial Man-*

agement Perspectives, *10*(3), pp.99-123. [In Persian]. https://doi.org/10.52547/jimp.10.3.99.

5. Patra, T.D.P. and Jha, J.K., 2022. Bidirectional option contract for prepositioning of relief supplies under demand uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, *163*, 107861. https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107861.
6. Asadkhani, J. Fallahi, A. and Mokhtari, H., 2022. A sustainable supply chain under VMI-CS agreement with withdrawal policies for imperfect items. *Journal of Cleaner Production*, *376*, 134098. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134098.
7. Chen, Y. Zhao, Q. Huang, K. and Xi, X., 2021. A Bi-objective optimization model for contract design of humanitarian relief goods procurement considering extreme disasters. *Socio-Economic Planning Sciences*, 101214. https://doi.org/10.1016/j.seps.2021.101214.
8. Nikkhoo, F. Bozorgi-Amiri, A. and Heydari, J., 2018. Coordination of relief items procurement in humanitarian logistic based on quantity flexibility contract. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *31*, pp.331-340. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.05.024.
9. John, L. and Gurumurthy, A., 2021. Are quantity flexibility contracts with discounts in the presence of spot market procurement relevant for the humanitarian supply chain? An exploration. *Annals of Operations Research*, *315*, pp.1775-1802. https://doi.org/10.1007/s10479-021-04058-4.
10. Kim, G. and Wu, C.H., 2013. Scenario aggregation for supply chain quantity-flexibility contract. *International Journal of Systems Science*, *44*(11), pp.2166-2182. https://doi.org/10.1080/00207721.2012.702237.
11. Kim, J.S. Park, S.I. and Shin, K.Y., 2014. A quantity flexibility contract model for a system with heterogeneous suppliers. *Computers & Operations Research*, *41*, pp.98-108. https://doi.org/10.1016/j.cor.2013.08.012.
12. Chan, F.T. and Chan, H.K., 2014. A simulation study with quantity flexibility in a supply chain subjected to uncertainties. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, *19*(2), pp.148-160. https://doi.org/10.1080/09511920500324381.
13. Ebrahimi Nasab, Heydari, J., Taleizadeh, and A., 2017. Coordination of ordering and production policies in the two-level newspaper vendor model under quantitative flexibility contract. *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, *4*(8), pp.119-131. [In Persian]. doi: 10.22084/IER.2017.1698.
14. Torabi, S.A., 2018. An option contract for vaccine procurement using the SIR epidemic model. *European Journal of Operational Research*, *267*(3), pp.1122-1140. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.12.013.
15. Esmaeili-Najafabadi, E., Azad, N., Pourmohammadi, H. and Nezhad, M.S.F., 2021. Risk-averse outsourcing strategy in the presence of demand and supply uncertainties. *Computers & Industrial Engineering*, *151*, p.106906. https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106906.
16. Yao, X., Huang, R., Song, M. and Mishra, N., 2018. Pre-positioning inventory and service outsourcing of relief material supply Chain. *International Journal of Production Research*, *56*(21), pp.6859-6871. https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1495853.
17. Wang, X. Li, F. Liang, L. Huang, Z. and Ashley, A., 2015. Pre-purchasing with option contract and coordination in a relief supply chain. *International Journal of Production Economics*, *167*, pp.170-176. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.05.031.
18. El Mokrini, A. and Aouam, T., 2022. A decision-support tool for policy makers in healthcare supply chains to balance between perceived risk in logistics outsourcing and cost-efficiency. *Expert Systems with Applications*, p.116999. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.116999.
19. Chen, K., and Xiao, T., 2015. Outsourcing strategy and production disruption of supply chain with demand and capacity allocation uncertainties. *International Journal of Production Economics*, *170*, pp.243-257. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.09.028.
20. Heydari, J., Govindan, K., Nasab, H.R.E. and Taleizadeh, A.A., 2020. Coordination by quantity flexibility contract in a two-echelon supply chain system: Effect of outsourcing decisions. *International Journal of Production Economics*, *225*, p.107586. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107586.
21. Tavakoli Moghaddam, R., Alinaghian, M. and Salamat Bakhsh, A., 2013. Presenting and solving a new mathematical planning model for competitive vehicle routing: A case study. *Journal of Transportation Research*, *7*(1), pp.311-323.
22. Azar, A. and Farrokh, M., 2017. *Uncertainty Planning: Stochastic, Fuzzy and Stable Approaches. Organization for the Study and Compilation of University Humanities Books (Position)*, Research Institute for Humanities Research and Development. Tehran. Chapter Two, p.80. [In Persian].
23. Mavrotas, G. and Florios, K., 2013. An improved version of the augmented$_\varepsilon$-constraint method (AUGMECON2) for finding the exact pareto set in multi-objective integer programming problems. *Applied Mathematics and Computation*, *219*(18), pp.9652-9669. https://doi.org/10.1016/j.amc.2013.03.002.