Archive of SID.ir

نشریه علمی «مدیریت زنجیره تامین»

سال بیست و چهارم، شماره ۷۵، تابستان ۱۴۰۱؛ ص ۳۳- ۱۳

علمی – پژوهشی

مدل ترکیبی انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش در شرایط عدم قطعیت تصادفی و حل با رویکرد بهینه‌سازی فازی استوار (مطالعه موردی: شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار)

حسینعلی حسن‌پور[۱*]، حسین غفاری توران[۲]، مصطفی زارعی[۳]، علی محمدی[۴]

۱و۲- استادیار، ۳- دانشجوی دکتری، ۴- کارشناسی ارشد گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

(دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۹، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۴)

چکیده

هدف تحقیق ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی دوهدفه شامل کمینه کردن هزینه‌های خرید و زمان تأخیر در تحویل و بیشینه کردن میزان تاب‌آوری برای بهینه‌سازی زنجیره تأمین اقلام عمومی به‌طوری‌که تمام پارامترهای توابع هدف و محدودیت‌ها غیرقطعی می‌باشد، است. برای حل مدل، ابتدا اوزان مناسب معیارهای مرتبط برای تولیدکنندگان از طریق روش تصمیم‌گیری چندمعیاره به دست آمده که این اوزان ورودی مدل ریاضی پیشنهادی می‌باشند. ازآنجاکه این مسئله جزو مسائل بهینه‌سازی ترکیبی در خانوادهٔ مسائل NP-hard محسوب می‌شود، برای حل مدل از الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه NSGA-II و MOPSO استفاده شد. برای مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم‌ها با کمک شاخص‌های مقایسه‌ای استفاده گردید. در این تحقیق برای تبدیل مدل فازی به مدل قطعی از برنامه‌ریزی محدودیت شانس امکانی استفاده شده که این روش دو مدل تخمین LAM و UAM را به‌طور مناسبی بر روی تغییرات بدبینانه-خوشبینانه ناشی از تفاوت نگرش تصمیم‌گیرندگان فیت می‌کند. یافته‌های حاصل از مقایسه این الگوریتم‌ها بیانگر این امر است که در حالت‌های خوش‌بینانه، الگوریتم ژنتیک عملکرد بهتری داشته و در حالت‌های بدبینانه، الگوریتم MOPSO عملکرد بهتری ارائه می‌دهد. به‌طور نمونه در زمان حل و معیار فاصله از نقطه ایدئال در تمام مسائل عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم دیگر دارد.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین تاب‌آور، عدم قطعیت تصادفی، بهینه‌سازی فازی استوار، NSGA-II، MOSPO، شاخص‌های مقایسه‌ای

۱- مقدمه

طراحی و یکپارچه‌سازی شبکه لجستیک به‌عنوان یک منبع کلیدی برای خلق مزایای رقابتی می‌تواند موجب رضایت مشتریان و پاسخگویی نیازهای خاص آنان را فراهم سازد. یکپارچه‌سازی جریان‌های مستقیم و معکوس باعث جلوگیری از زیربهینگی ناشی از طراحی جدا از هم شبکه لجستیک مستقیم و معکوس می‌شود. زنجیره‌های تأمین سامانه‌های پیچیده و دینامیکی هستند که اغلب در حوزه‌های جغرافیایی وسیعی گسترده شده‌اند [۱]. چالشی جدی که پژوهشگران در طراحی شبکه زنجیره تأمین با آن مواجه هستند عدم قطعیت پیش رو در محیط ناشناخته کسب‌وکار است. ازآنجایی‌که تصمیمات راهبردی مربوط به طراحی شبکه زنجیره تأمین برای یک افق زمانی بلندمدت اتخاذ می‌شوند و همچنین تغییر این تصمیمات هزینه‌های بسیاری در پی خواهد داشت، بنابراین در نظر گرفتن عدم قطعیت در هر مرحله طراحی شبکه امری اجتناب‌ناپذیر است. به‌طورکلی دو نوع منشأ عدم قطعیت که عملکرد زنجیره تأمین را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند باید در طراحی شبکه زنجیره تأمین موردتوجه قرار گیرند از یکسو وقوع اختلالات احتمالی و آسیب‌های ناشی از آن و از سوی دیگر ماهیت غیرقطعی پارامترهای معمول کسب‌وکار [۲]. در زنجیره تأمین، مدیریت برگشتی در قالب لجستیک معکوس اعمال می‌شود. به دلایل مختلف، جریان مواد و کالاها در خلاف جهت عادی زنجیره، اجتناب‌ناپذیر است. پرداختن به موضوع شبکه لجستیک معکوس و مدیریت و هدایت مؤثر و ضروری است. با توجه به بررسی‌ها یکی از مواردی که تأثیر بسیاری بر مدل‌سازی شبکه لجستیک معکوس دارد، در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت است. در لجستیک معکوس، پارامترهایی مثل ظرفیت مراکز، تقاضا، هزینه و کیفیت و... غیرقطعی هستند. در برخورد با مبحث لجستیک یکپارچه، ابتدا باید دید که در تصمیمات تاکتیکی سازمان، چه اصولی مطرح است تا با کمک آن بتوان برای لجستیک یکپارچه نیز تصمیمات طراحی راهبردی اتخاذ کرد. در این راستا، طراحی شبکه لجستیک به‌عنوان بخشی از برنامه‌ریزی زنجیره تأمین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و می‌تواند نقش مثبتی روی اهداف زنجیره تأمین به‌خصوص کاهش هزینه‌ها، سطح پاسخگویی و کارایی داشته باشد [۳]. مسئله موردبررسی در این پژوهش طراحی یک مدل شبکه لجستیک یکپارچه مستقیم با در شرایط عدم قطعیت است. در

* رایانامه نویسنده مسئول: hahassan@ihu.ac.ir

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

پژوهش پیش‌رو برآنیم تا با توسعه مدل‌هایی به طراحی استوار شبکه زنجیره تأمین پرداخته شود به‌طوری‌که از یکسو توانایی مواجهه با عدم قطعیت معمول پارامترها را داشته باشد و از سوی دیگر در مواجهه با اختلالات احتمالی و از دست رفتن ظرفیت خدمت‌دهی عملکرد قابل قبولی داشته باشد. هدف از ارائه مدل در تحقیق، تعیین تأمین‌کنندگان بالقوه و تخصیص سفارش به آن‌ها و تعیین مقدار موجودی که باید در انبار نگهداری شود به‌گونه‌ای که هزینه‌های داخل و بین مراکز در زنجیره تأمین کاهش و سطح پاسخگویی در زنجیره تأمین بیشینه شود. مدل ریاضی استفاده شده در تحقیق جاری، برگرفته از تحقیق ترابی و همکاران [۴] است به‌طوری‌که مبتنی بر شرایط واقعی مسئله در مطالعه موردی (شرکت تأمین‌کننده ایثار)، این مدل ریاضی توسعه داده شده است. ایده اصلی توسعه مدل، اضافه کردن یک سطح به زنجیره تأمین از طریق انبارهای میانی است. انبارهای شرکت، به‌عنوان بخشی از زنجیره تأمین در حالت‌های اختلال و عدم قطعیت، می‌توانند نیازهای مربوط به رده‌ها را برآورده نمایند؛ لذا این حالت در مدل ریاضی لحاظ گردید و پارامترها و متغیرهای آن تعریف شد و محدودیت مربوط به ظرفیت انبار و هزینه‌های نگهداری آن، به مدل اضافه شده است.

مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات و به‌ویژه مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات گسسته را می‌توان مبنای تأسیس مسائل طراحی شبکه در زنجیره تأمین در نظر گرفت در جدول (۱) یک دسته‌بندی از پیشینه تحقیق و مدل‌های مرتبط با تاب‌آوری زنجیره تأمین بیان شده است.

جدول (۱). دسته‌بندی پیشینه تحقیق و مدل‌های مرتبط با تاب‌آوری زنجیره تأمین

منبع	نام محقق	عنوان پژوهش	سطح تصمیم‌گیری		رویکرد زنجیره				عدم قطعیت		طراحی شبکه						معیارهای ثبات			روش حل			ملاحظه تاب‌آوری				مطالعه موردی	سال
			استراتژیک	عملیاتی	ناب	چابک	تاب‌آور	پایدار	پارامترها	اختلال	چندمحصولی	تک‌محصولی	چنددوره‌ای	تک‌دوره‌ای	چندهدفه	تک‌هدفه	تعداد سطح	استواری	پاسخ‌گویی	کشسانی	برنامه‌ریزی ریاضی	روش‌های دقیق	روش‌های فرابتکاری	انتخاب تأمین‌کننده	تولید	توزیع	موجودی		
۵	پیشوایی و زنجیرانی فراهانی	مدلی برای طراحی یکپارچه شبکه لجستیک مستقیم و معکوس در یک زنجیره تأمین تحت شرایط عدم قطعیت			*				*		*		*		*		۳	*			*		*						۱۳۸۷
۶	آل عثمان و همکاران	بهینه‌سازی زنجیره تأمین مواد سوختی تحت شرایط عدم قطعیت تقاضا و قیمت		*				*	*		*			*		*	۴		*		*		*						۲۰۰۸

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

منبع	نام محقق	عنوان پژوهش	سطح تصمیم‌گیری		رویکرد زنجیره				عدم قطعیت		طراحی شبکه							معیارهای ثبات			روش حل			ملاحظه تاب‌آوری				مطالعه موردی	سال
۷	پیشوایی و رزمی	رویکرد برنامه‌ریزی احتمالی برای شبکه لجستیک در شرایط عدم قطعیت	*					*	*			*	*			*	۴	*	*		*							*	۲۰۱۰
۸	حسنی و همکاران	طراحی شبکه استوار کالاهای فاسدشدنی در تولید ناب		*	*		*		*		*			*	*		۳	*			*		*	*	*				۲۰۱۲
۹	جبارزاده و همکاران	طراحی شبکه پویا برای زنجیره تأمین خون در حوادث	*		*		*	*		*			*	*		*	۳	*				*		*			*		۲۰۱۴

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

ردیف	نام محقق	عنوان پژوهش	سطح تصمیم‌گیری		رویکرد زنجیره				عدم قطعیت		طراحی شبکه					معیارهای ثبات			روش حل			ملاحظه تاب‌آوری				مطالعه موردی	سال
			استراتژیک	عملیاتی	ناب	چابک	تاب آور	پایدار	پارامترها	اختلال	جند محصولی	تک‌محصولی	چنددوره‌ای	تک‌دوره‌ای	چندهدفه	تک‌هدفه	تعداد سطح	استواری	پاسخ‌گویی	کشسانی	برنامه‌ریزی ریاضی	روش‌های دقیق	روش‌های فرابتکاری	انتخاب تأمین‌کننده	تولید	توزیع	موجودی		
۱۰	کریستینو و همکاران	مدلی برای طراحی تاب آور شبکه زنجیره تأمین	*	*			*		*		*		*		*		۳				*		*			*			۲۰۱۶
۱۱	ژاله چیان و همکاران	طراحی پایدار طراحی شبکه موجودی مسیریابی و مکان‌یابی زنجیره تأمین تحت شرایط عدم قطعیت	*	*			*	*	*		*		*		*		۳			*	*		*			*	*	*	۲۰۱۶
۱۲	ربانی و همکاران	طراحی چندهدفه زنجیره تأمین با در نظر گرفتن ریسک اختلال و شرایط عدم قطعیت پارامترهای اقتصادی	*				*		*	*	*		*		*		۳			*	*		*		*				۱۳۹۴
۱۳	هاتفی و جولای	طراحی شبکه استوار و قابل‌اطمینان تحت شرایط عدم قطعیت تقاضا و ریسک اختلال	*	*	*		*		*	*	*	*		*		*	۳	*		*						*			۲۰۱۴

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

	نام محقق	عنوان پژوهش	سطح تصمیم‌گیری		رویکرد زنجیره				عدم قطعیت		طراحی شبکه					معیارهای ثبات			روش حل			ملاحظه تاب‌آوری				مطالعه موردی	سال
			استراتژیک	عملیاتی	ناب	چابک	تاب آور	پایدار	پارامترها	اختلال	محصول		دوره		هدف		تعداد سطح	استواری	پاسخ‌گویی	کشسانی	برنامه‌ریزی ریاضی	روش‌های دقیق	روش‌های فرا ابتکاری	انتخاب تأمین‌کننده	تولید	توزیع	موجودی		
											چندمحصولی	تک‌محصولی	چنددوره‌ای	تک‌دوره‌ای	چندهدفه	تک‌هدفه												
۱۴	جولای و همکاران	بهینه‌سازی خاصیت کشسانی در یک مدل برنامه‌ریزی تولید، توزیع یکپارچه	*	*			*		*	*	*		*		*		۳	*		*	*	*			*	*	*		۱۳۹۲
۱۵	ترابی و همکاران	انتخاب تأمین‌کننده تاب‌آور و تخصیص سفارش تحت شرایط ریسک عملیاتی و اختلال	*	*		*	*		*	*	*			*	*		۳			*	*	*		*					۲۰۱۵
۱۶	شجاعی و همکاران	ارائه یک مدل زنجیره تأمین استوار و کشسان تحت شرایط عدم قطعیت ریسک و اختلال	*	*		*	*		*	*	*		*		*		۳	*		*	*			*		*			۱۳۹۳
۱۷	خلیلی نصر و همکاران	یک مدل تأمین‌کننده انتخاب و تخصیص سفارش چندمنظوره فازی برای زنجیره‌های تأمین حلقه بسته پایدار	*			*	*	*	*		*		*		*		۳	*		*	*	*		*			*	*	۲۰۲۱

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

	نام محقق	عنوان پژوهش	سطح تصمیم‌گیری		رویکرد زنجیره				عدم قطعیت		طراحی شبکه							معیارهای ثبات			روش حل			ملاحظه تاب‌آوری				مطالعه موردی	سال
۱۸	حسینی و همکاران	انتخاب تأمین‌کننده تاب‌آور و تخصیص بهینه سفارش تحت خطرات اختلال	*		*		*			*		*	*		*		۳		*	*	*			*					۲۰۱۹
۱۹	نجف‌آبادی و همکاران	انتخاب تأمین‌کننده ریسک گریز و تخصیص سفارش در زنجیره‌های تأمین متمرکز تحت خطرات اختلال	*		*		*			*	*		*		*		۳	*		*		*	*	*				*	۲۰۲۱
۲۰	فیروزی و جدیدی	ارائه مدل چندهدفه برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش با پارامترهای فازی	*				*		*			*	*			*	۳	*		*	*			*					۲۰۲۱
-	پژوهش حاضر	طراحی شبکه تاب آور زنجیره تأمین تحت شرایط عدم قطعیت و حل با رویکرد بهینه‌سازی استوار	*	*			*		*	*	*			*		*	۳	*		*		*	*	*		*	*	*	۱۳۹۷

۲- جنبه جدید بودن و نوآوری تحقیق

با توجه به‌مرور ادبیات اکثر کارهای انجام‌شده در حوزه طراحی شبکه زنجیره تأمین در فضای عدم قطعیت، فقط عدم قطعیت مربوط به پارامترها را در نظر گرفته و تعداد محدودی نیز عدم قطعیت مربوط به اختلال را در نظر گرفته‌اند. در این پژوهش هر دو حالت عدم قطعیت یعنی عدم قطعیت پارامترها و اختلال به‌طور هم‌زمان توسط مدل ریاضی ارائه‌شده مدیریت می‌شوند. بیشتر تحقیقات انجام‌شده در حوزه عدم قطعیت در طراحی شبکه از تئوری مجموعه‌های عدم قطعیت بسته برای مواجهه با عدم قطعیت استفاده می‌شود، درحالی‌که در تحقیق پیش‌رو از تئوری امکان به‌عنوان یک رویکرد جدید از روش‌های بهینه‌سازی استوار برای مدیریت عدم قطعیت استفاده شده است. این تحقیق شامل دو فاز است، در مرحله اول کار پرسش‌نامه‌ای و میدانی برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان صورت گرفته و از نظرات و مشورت‌های خبرگان این حوزه استفاده شده است. در مرحله دوم از خروجی پرسشنامه به‌عنوان ورودی مدل‌سازی ریاضی استفاده می‌شود. مدل استفاده‌شده در این تحقیق برگرفته و توسعه‌یافته مدل [۴] است که با توجه به ساختار زنجیره تأمین در شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار و نیاز این رده به ارزیابی و انتخاب بهترین تأمین‌کنندگان، بومی‌سازی شده است. در بومی‌سازی مدل ریاضی برای شرکت به این امر توجه شده است که انبارهای شرکت نیز به‌عنوان بخشی از تأمین در حالت‌های اختلال و عدم قطعیت می‌توانند نیازهای مربوط به رده‌ها را برآورده نمایند؛ لذا در مدل ریاضی لحاظ شده و پارامترها و متغیرهای آن تعریف شده و محدودیت مربوط به ظرفیت انبار و هزینه‌های نگهداری آن به مدل اضافه شده است.

برای مدل‌سازی مسئله، فرض‌های زیر مدنظر قرار گرفته است. همان‌گونه که در بخش مقدمه مقاله، در مورد توسعه مدل ریاضی بحث

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

شد، این فرض‌ها بر اساس مطالعه موردی تحقیق جاری (شرکت تأمین‌کننده ایثار)، تبیین شده است که عبارت‌اند از:

۱- مکان کارخانه‌ها، مرکز پخش و مراکز استقرار مشتریان از قبل مشخص است.

۲- تولیدکنندگان بر اساس فهرست اقلام موردنیاز رده‌ها، محصول را تولید کرده و در اختیار مراکز پخش قرار می‌دهند.

۳- پخش یا توزیع اقلام می‌تواند از طریق شرکت ایثار باشد، یا به‌طور مستقیم به رده‌ها فرستاده شود.

۴- زنجیره تأمین موردنظر، سه سطحی است. در سطح اول، تولیدکنندگان (در نقش تأمین‌کنندگان شرکت ایثار) قرار دارند. سطح دوم، شرکت ایثار (به‌عنوان توزیع‌کننده اصلی زنجیره) قرار دارد و سطح سوم مشتریان (رده‌های کاربر شامل نیروهای پنج‌گانه و سپاه‌های استانی) قرار دارند.

۵- تقاضا به‌صورت پارامتر فازی است.

۶- مدل چند محصولی، تک‌دوره‌ای با پارامترهای غیرقطعی است.

۷- تمام نیاز رده‌ها باید تأمین شود (به دلیل عملیاتی بودن مأموریت سازمان، کمبود مجاز نیست).

۸- هیچ الزامی وجود ندارد که ظرفیت موردنیاز مراکز توزیع تنها توسط یک تأمین‌کننده تأمین شود.

۹- تقاضای مشتری می‌تواند از چند تأمین‌کننده برآورده شود.

۱۰- هزینه‌های حمل‌ونقل بر عهده عرضه‌کننده‌ها و مشتریان خواهد بود.

متغیرها و پارامترهای مورداستفاده در مدل، در زیر خلاصه می‌شوند:

مجموعه‌ها و اندیس‌ها: اندیس‌ها و مجموعه‌ها به شرح زیر است.

I: تأمین‌کنندگان نوع اول $I \subset V$

J: تأمین‌کنندگان نوع دوم $J \subset V$

W : انبارهای شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار $w \subset W$

E: مجموعه حوادث مختل‌کننده ممکن برای تأمین‌کننده

E_i: مجموعه حوادث مختل‌کننده ممکن برای تأمین‌کننده i $E_i \subset E$

$\bar{V}_S$: مجموعه تأمین‌کنندگان که در سناریو s دچار اختلال می‌شوند. $\bar{V}_S \subset V$

V_S: مجموعه تأمین‌کنندگان که در سناریو s دچار اختلال نمی‌شوند. $V_S \subset V$

L_{ie}: مجموعه سطوح بازسازی تأمین‌کننده i بعد از حادثه مختل‌کننده e $i \in j, e \in \boldsymbol{E_i}$

U مجموعه سطوح ممکن مستحکم‌سازی برای تأمین‌کنندگان نوع دوم

e_{is}: اندیس حوادث مختل‌کننده برای تأمین‌کننده i در سناریو s $i \in \bar{V}_S, e_{is} \in E_i$

e: اندیس حوادث مختل‌کننده ممکن $e \in E$

u: اندیس سطوح بازسازی برای تأمین‌کنندگان نوع دوم $u \in U$

l : اندیس سطوح بازیابی در تأمین‌کنندگان نوع دوم $i \in j, e \in E_i, l \in L_{ie}$

K : مجموعه محصولات

S : مجموعه سناریوهای اختلال

V : مجموعه تأمین‌کنندگان

i : اندیس تأمین‌کنندگان $i \in V$

k : اندیس محصولات $k \in K$

s : اندیسسناریوها $s \in S$

پارامترهای مدل: پارامترهای لازم برای مدل‌سازی زنجیره تأمین اقلام موردنظر عبارت‌اند از:

FR_{iu}: هزینه مستحکم‌سازی تأمین‌کننده i در سطح u

$\tilde{h}_{ik}$: هزینه نگهداری موجودی اضطراری از محصول k نزد تأمین‌کننده پشتیبان i

$\tilde{f}_i$:هزینه ثابت قرارداد با تأمین‌کننده i به‌عنوان تأمین‌کننده پشتیبان

$\tilde{p}_{ik}$: هزینه خرید و حمل محصول k از تأمین‌کننده اصلی i

$\tilde{p}'_{ik}$: هزینه خرید و حمل محصول k از تأمین‌کننده پشتیبان i

b_{wk}: فضای موردنیاز برای نگهداری هر محصول k در انبار w شرکت

a_{ik}: میزان مصرف محصول k از تأمین‌کننده i

Ca_i: ظرفیت عرضه تأمین‌کننده i تحت شرایط عادی

$\tilde{d}_k$: تقاضای محصول k در دوره

$\tilde{h}_k$: هزینه نگهداری موجودی اضطراری از محصول k در انبار شرکت

RT_{ie}^{l}: زمان بازیابی تأمین‌کننده پشتیبانi تا سطح l بعد از حادثه e

CL_{ie}^{l}: ظرفیت تأمین‌کننده پشتیبان بعد از حادثه e و بازیابی تا سطح l

n : بیشترین مقدار مجاز تأمین‌کنندگان در شرایط نرمال

$\tilde{\varphi}_{ik}$: نرخ معیوب بودن محصول k تأمین‌شده از تأمین‌کننده i

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

R_k: بالاترین مقدار قابل‌قبول برای نرخ معیوب بودن محصول k

$\tilde{A}_i$: هزینه ثابت قرارداد با تأمین‌کننده i به‌عنوان تأمین‌کننده اصلی

Ca_w: ظرفیت نگهداری انبار w شرکت

Sc_i: ظرفیت نگهداری نزد تأمین‌کننده i

w_{ik}: مقدار موجودی از محصول k و تأمین‌کننده پشتیبان i که در انبار w نگهداری می‌شود.

LT_i: زمان تدارک تأمین‌کننده اصلی i

LT'_i: زمان تدارک تأمین‌کننده پشتیبان i

π_{ie}: احتمال وقوع حادثه e برای تأمین‌کننده i

θ_{ie}: ظرفیت باقیمانده از تأمین‌کننده i بعد از حادثه مختل‌کننده e

β_{ieu}: میزان افزایش ظرفیت تأمین‌کننده پشتیبان i بعد از حادثه e به دلیل مستحکم‌سازی تا سطح u

P_s: احتمال وقوع سناریو s

M : مقدار بزرگ

فضای موردنیاز برای ذخیره‌سازی هر محصول k نزد تأمین‌کننده i در دوره

متغیرهای تصمیم: متغیرهای تصمیم لازم برای مدل‌سازی در زیر آورده شده است.

* متغیرهای تصمیم مرحله اول:

z'_i: اگر با تأمین‌کننده i به‌عنوان تأمین‌کننده پشتیبان قرارداد بسته شود ۱در غیر این صورت صفر

y_{iu}: اگر تأمین‌کننده i تا سطح u مستحکم‌سازی شود ۱ در غیر این صورت صفر

ss_{wk}: مقدار موجودی از پیش ذخیره شده از محصول k نزد انبار w شرکت

ss_{ik}: مقدار موجودی از پیش ذخیره شده از محصول k نزد تأمین‌کننده مستحکم‌شده i در دوره

x_{ik}: مقدار محصول k خریداری‌شده از عرضه‌کننده i و حمل شده به شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار

z_i: اگر با تأمین‌کننده i به‌عنوان تأمین‌کننده اصلی قرارداد بسته شود ۱ در غیر این صورت صفر

* متغیرهای تصمیم وابسته به سناریو:

qp'_{iks}: مقدار محصول k خریداری‌شده از تأمین‌کننده پشتیبان بعد از اختلال تحت سناریو s

$RT^l_{ie_{is}}$: اگر تأمین‌کننده مختل شده i تا سطح l بعد از حادثه e_{is} در سناریو s بازیابی شود ۱ در غیر این صورت ۰

x'_{iks}: مقدار محصول k که بعد از اختلال تحت سناریو s از تأمین‌کننده i دریافت خواهد شد.

xp'_{wks}: مقدار محصول k مصرف‌شده از موجودی ذخیره‌شده در انبار w شرکت بعد از اختلال تحت سناریو s

q_{iks}: مقدار محصول k مصرف‌شده که از موجودی ذخیره‌شده نزد تأمین‌کننده i بعد از اختلال تحت سناریو s

۳- مدل ریاضی پیشنهادی

$$\begin{aligned}\text{Minf1} = {} & \sum_{i\in V} A_i z_i + \sum_{i\in V}\sum_{k\in K} p_{ik}x_{ik} + \sum_{i\in V} f_i \acute{z}_\iota \\ & + \sum_{i\in j}\sum_{u\in U} FR_{iu}y_{iu} \\ & + \sum_{i\in j}\sum_{k\in K} h_{ik}ss_{ik} \\ & + \sum_{w\in W}\sum_{k\in K} \acute{h}_{wk}ss_{wk} \\ & + P_s\left[\sum_{i\in V_s}\sum_{k\in K} \acute{p}_{ik}\acute{q}_{iks}\right. \\ & + \sum_{i\in j}\sum_{k\in K} p_{ik}q_{iks} \\ & \left. - \sum_{i\in \overline{V_s}}\sum_{k\in K} p_{ik}(x_{ik} - \acute{x}_{iks})\right]\end{aligned} \quad (۱)$$

$$\begin{aligned}\text{Minf2} = {} & P_s\left[\sum_{i\in V}\sum_{k\in K} \acute{LT}_i\acute{q}_{iks} + \sum_{i\in j}\sum_{k\in K} LT_i q_{iks}\right. \\ & + \sum_{i\in j\cap \overline{V_s}}\sum_{k\in K}\left((\acute{x}_{iks}\right. \\ & \left.\left. - \theta_{ie_{is}}x_{ik})\left[LT\right.\right.\right. \\ & \left.\left.\left. + \sum_{l\in L_{ie}} RT^l_{ie_{is}} LT^l_{ie_{is}}\right]\right)\Bigg]\end{aligned} \quad (۲)$$

St:

$$\left(\sum_{i\in V_s}(x_{ik} + \acute{q}_{iks}) + \sum_{i\in \overline{V_s}} \acute{x_{\iota ks}} + \sum_{i\in j} q_{iks}\right) + \sum_{t\in T}\sum_{w\in W} \acute{x}_{wks} \geq d_k \quad \forall s \in S. k \in K \quad (۳)$$

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

$$\sum_{k\in K} a_{ik}(x_{ik}+\acute{q}_{iks}) \le Ca_i \quad \forall s\in S.i\in V \tag{۴}$$

$$\sum_{k\in K} a_{ik}\acute{x}_{iks} \le \theta_{ie_{is}} Ca_i \quad \forall i\in I\cap \bar{V}_s \ .e.s \tag{۵}$$

$$\sum_{k\in K} a_{ik}\acute{x}_{iks} \le \left[\left(\theta_{ie_{is}}+\sum_{u\in U}\beta_{ie_{is}}Y_{iu}\right)\left(1-\sum_{u\in U}RL^{ls}_{ie_{is}}\right)+\sum_{l\in L_{ie}} CL^{l}_{ie_{is}}RL^{l}_{ie_{is}}\right] * Ca_i \quad \forall i\in I\cap \bar{V}_s \ .e.s \tag{۶}$$

$$\theta_{ie_{is}} * x_{ik} \le \acute{x}_{iks} \quad \forall i\in \bar{V}_s \ .e.s \tag{۷}$$

$$\sum_{k\in K} b_{ik}ss_{ik} \le Sc_i \sum_{u\in U} Y_{iu} \quad \forall i \in I\cap \bar{V}_s \ .e.s \tag{۸}$$

$$\sum_{k\in K} b_{wk}ss_{wk} \le ca_w \quad \forall w\in W.s\in S \tag{۹}$$

$$\sum_{i\in V_s}\tilde{\varphi}_{ik}\,(x_{ik}+\grave{q}_{iks})+\sum_{i\in V_s}\tilde{\varphi}_{ik}\,\grave{x}_{iks}+\sum_{i\in j}\tilde{\varphi}_{ik}\,. \le R_k\left[\sum_{i\in V_s}(x_{ik}+\grave{q}_{iks})+\sum_{i\in V_s}\grave{x}_{iks}+\sum_{i\in j}q_{iks}\right] \quad \forall k \in K.s\in S \tag{۱۰}$$

$$\sum_{u} \boldsymbol{Y_{iu}} \le \boldsymbol{1} \quad \forall i\in j \tag{۱۱}$$

$$\boldsymbol{q_{iks}} \le \boldsymbol{W_{ik}} \quad \forall k\in K.s\in S.i\in j \tag{۱۲}$$

$$\sum_{k\in K} \boldsymbol{x_{ik}} \le \boldsymbol{M} * \boldsymbol{z_i} \quad \forall i\in V \tag{۱۳}$$

$$\boldsymbol{q'_{iks}} \le \boldsymbol{M} * \boldsymbol{z_i} \quad \forall k\in K.s\in S.i\in V \tag{۱۴}$$

$$\boldsymbol{x'_{iks}} \le \boldsymbol{ss_{wk}} \quad \forall k\in K.s\in S.t\in T.w\in W \tag{۱۵}$$

$$\boldsymbol{q'_{iks}} = \boldsymbol{0} \quad \forall\ i\in \bar{V}_s.k\in K.s\in S \tag{۱۶}$$

$$\sum_{i\in V} \boldsymbol{z_i} \le \boldsymbol{n} \tag{۱۷}$$

$$\sum_{l\in L_{ie}} RL^{l}_{ie_{is}} \le 1 \quad \forall i\in I\cap \bar{V}_s.k\in K.s\in S \tag{۱۸}$$

$$x_{ik}.x'_{iks}.ss_{ik}.\acute{x}_{wks}.q_{iks}.\grave{q}_{iks}.\boldsymbol{ss_{wk}} \ge 0 \quad \forall i\in V.k\in K.s\in S \tag{۱۹}$$

$$y_{iu}\in\{0.1\} \quad \forall\ \ i\in j.u\in U \tag{۲۰}$$

$$z_i.\acute{z}_i\in\{0.1\} \quad \forall\ \ i\in V \tag{۲۱}$$

$$RL^{l}_{ie_{is}}\in\{0.1\} \quad \forall i\in j.s\in S\ .\boldsymbol{l}\in L_{ie_{is}} \tag{۲۲}$$

تابع هدف شماره (۱) مجموع هزینه‌های موردانتظار را کمینه می‌کند که شامل هزینه‌های ثابت عقد قرارداد، خرید و انتقال از تأمین‌کنندگان عمده و هزینه قرارداد با تأمین‌کنندگان پشتیبان، هزینه مستحکم‌سازی، هزینه نگهداری محصول در انبار بعضی تأمین‌کننده‌ها و انبارهای شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار است. در بخش آخر این تابع هدف، به ازای هر اختلال تحت سناریو s هزینه خرید، حمل محصول از تأمین‌کننده پشتیبان و هزینه خرید و حمل محصول مصرف‌شده از موجودی ذخیره‌شده نزد تأمین‌کننده اصلی از مابه‌التفاوت هزینه خرید و حمل محصول قبل و بعد از اختلال کسر می‌شود. تابع هدف (۲) که در واقع یک ابزار کمی برای سنجش تاب‌آوری از دست رفته است، به این صورت عمل می‌کند که مقدار خریداری‌شده از تأمین‌کنندگان پشتیبان و مقدار استفاده‌شده از موجودی اضطراری ذخیره‌شده نزد تأمین‌کنندگان مستحکم شده، ضرب در زمان موردنیاز برای تدارک این محصولات هرچه قدر کم‌تر باشد؛ تاب‌آوری سیستم تأمین افزایش می‌یابد. محدودیت (۳) تقاضای هر محصول در هر دوره، برای هر مشتری، تحت هر سناریو باید برآورده شود. محدودیت (۴) مقدار خریداری‌شده از هر عرضه‌کننده مختل نشده به‌عنوان عرضه‌کننده اصلی یا پشتیبان باید از ظرفیت تأمین آن عرضه‌کننده در همان دوره کمتر باشد. محدودیت (۵) مقدار خریداری‌شده از تأمین‌کنندگان نوع اول مختل شده در صورت وجود ظرفیت عرضه پس از اختلال را با توجه به ظرفیت آن عرضه‌کننده پس از اختلال محدود می‌کند. محدودیت (۶) مقدار خریداری‌شده از تأمین‌کنندگان نوع دوم در صورت وجود ظرفیت پس از وقوع اختلال با توجه به سطح بازیابی و مستحکم‌سازی این تأمین‌کنندگان محدود می‌نماید. نکته مهم در این محدودیت، غیرخطی بودن عبارت اول در سمت راست محدودیت است. محدودیت (۷) بیان می‌کند که مقدار فرستاده‌شده از عرضه‌کننده مختل شده تحت هر سناریو باید بزرگ‌تر یا مساوی مقدار خریداری‌شده از عرضه‌کننده در شرایط نرمال ضرب در ظرفیت باقی‌مانده عرضه‌کننده پس از اختلال باشد. محدودیت (۸) تضمین می‌کند که موجودی اضطراری تنها نزد تأمین‌کنندگان نوع دوم نگهداری شده و حجم موجودی که در هر دوره نزد این عرضه‌کنندگان نگهداری می‌شود از فضای انبار عرضه‌کنندگان نوع دوم بیشتر نباشد. محدودیت (۹) مقدار موجودی اضطراری که در انبارهای شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار نگهداری می‌شود را با توجه به فضای موجود انبار محدود می‌کند. محدودیت (۱۰) تضمین می‌کند که مجموع نرخ معیوب مورد انتظار برای هر محصول باید کمتر از نرخ معیوب مورد انتظار توسط شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار باشد. محدودیت (۱۱) بیان می‌کند

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

که تأمین‌کنندگان نوع دوم حداکثر تا یک سطح مستحکم‌سازی می‌توانند بازیابی شوند. محدودیت (۱۲) تضمین می‌کند که مقدار دریافت کالا از موجودی از پیش‌ذخیره شده نزد عرضه‌کنندگان نوع دوم در فاز پیش از اختلال باید از مقدار موجودی ذخیره‌شده نزد تأمین‌کننده پیش از وقوع اختلال کمتر یا مساوی باشد. محدودیت (۱۳) در صورتی می‌توان از تأمین‌کنندگان اصلی کالا دریافت کرد که با این عرضه‌کنندگان قرارداد بسته شده باشد. محدودیت (۱۴) تضمین می‌کند که مقدار خریداری‌شده از عرضه‌کننده پشتیبان درصورتی‌که با آن عرضه‌کننده قرارداد عقد نشده باشد مساوی صفر است. محدودیت (۱۵) تضمین می‌کند مقدار استفاده‌شده از موجودی اضطراری ذخیره‌شده در انبارهای شرکت پس از اختلال باید کمتر یا مساوی مقدار ذخیره‌شده این موجودی در دوره پیش از اختلال باشد. محدودیت (۱۶) تضمین می‌کند که عرضه‌کنندگان مختل شده در هر سناریو نمی‌توانند به‌عنوان عرضه‌کننده پشتیبان در همان سناریو در نظر گرفته شوند. محدودیت (۱۷) بیان می‌کند که تعداد عرضه‌کنندگان اصلی باید از ماکزیمم تعداد تأمین‌کنندگان در شرایط نرمال (شرایط پیش از اختلال) کمتر باشد (بر اساس اصول زنجیره تأمین ناب). محدودیت (۱۸) بیان می‌کند که هرکدام از عرضه‌کنندگان مختل شده نوع دوم می‌توانند تا یک سطح مستحکم‌سازی مورد بازیابی قرار گیرند. محدودیت‌های (۱۹) تا (۲۲) نوع متغیرهای تصمیم را مشخص می‌کند.

۴- فازی زدایی مدل قطعی

روش‌های متعددی تاکنون برای تبدیل مدل‌های امکانی فازی به مدل قطعی توسعه داده شده است. در ادبیات چندین روش برای تبدیل یک مدل احتمالی به یک قطعی معادل آن وجود داشته است. بررسی ادبیات نشان می‌دهد که روش‌های برنامه‌ریزی احتمالی مبتنی بر اعتبار[1] شامل ارزش انتظاری[2]، برنامه‌ریزی محدودیت شانس[3] و برنامه‌ریزی محدودیت شانس وابسته[4]، جزو کاربردی‌ترین روش‌ها برای مواجهه با عدم قطعیت در داده‌های ورودی هستند. در میان این روش‌ها، رویکرد برنامه‌ریزی محدودیت شانس امکانی، بیشترین کاربرد را در مسائلی دارد که در آن تصمیم‌گیرنده می‌تواند حداقل سطح اطمینان را به‌عنوان یک حاشیه ایمنی مناسب برای ارضای هر محدودیت احتمالی داشته باشد. اخیراً ژو[5] و همکاران، رویکرد جدیدی از برنامه‌ریزی محدودیت شانس امکانی ارائه کردند که در آن از یک اندازه فازی جدید me که بسطی بر اندازه اعتبار است. مهم‌ترین مزیت روش ژو و همکاران [۲۱] این است که دو مدل تخمین LAM و UAM به‌طور مناسبی بر روی تغییرات بدبینانه-خوشبینانه ناشی از تفاوت نگرش تصمیم‌گیرندگان فیت شود. ازآنجایی‌که مدل UAM از یک رویکرد خوش‌بینانه در محدودیت‌ها استفاده می‌کند، ناحیه شدنی آن از ناحیه شدنی مدل LAM بزرگ‌تر است. در نتیجه مدل UAM از نظر تئوری جواب بهینه بهتری به دست می‌دهد. هنگامی‌که مدل‌های LAMو UAM به‌صورت هم‌زمان حل شوند، بازه‌ای از جواب‌ها ایجاد خواهد شد که حد بالا و پایین این بازه‌ها خروجی حل مدل‌های LAM و UAM می‌باشد. با استفاده از این دو مدل، تصمیم‌گیرنده حد بالا و حد پایینی از جواب‌های بهینه را در اختیار خواهد داشت. در این روش، اطلاعات بیشتری برای تصمیم‌گیرنده جهت انتخاب راه‌حل نهایی از میان جواب‌های ایجادشده فراهم می‌کند [۲۲].

۵- روش بهینه‌سازی چندهدفی

با توجه به دو هدفه بودن مسئله، تابع هدف در نظر گرفته شده، یک تابع مطلوبیت به‌صورت ترکیب خطی محدب از اهداف است که در آن به هرکدام از هدف‌ها، یک وزن جداگانه داده می‌شود. به‌علاوه برای همسان‌سازی تأثیر هرکدام از اهداف در تابع مطلوبیت، با استفاده از شاخص انحراف نسبی[6] (RDI)، اهداف نرمال‌سازی می‌شود [۲۳] و [۲۴]:

$$RDI = \frac{Alg_{sol} - Best_{sol}}{Worst_{sol} - Best_{sol}} * 100 \qquad (۲۳)$$

$$F = \sum_{i=1}^{2} \lambda_i * f_i^{norm} = \lambda_1 f_1^{norm} + \lambda_2 f_2^{norm} \qquad (۲۴)$$

$$\sum_{i=1}^{2} \lambda_i = 1 \ , \ \lambda_i \epsilon [0,1]$$

در رابطه فوق، f_1^{norm}، f_2^{norm} و به ترتیب مقدار نرمال شده جزء اول، دوم تابع هدف می‌باشند. چنانچه تابع هدف i به‌صورت ماکزیمم‌سازی باشد، مقدار نرمال شده آن طبق رابطه (۲۵) به‌دست می‌آید.

$$f_i^{norm} = \frac{f_i - f_i^{max}}{f_i^{min} - f_i^{max}}, i = 1,2,3 \qquad (۲۵)$$

و اگر تابع هدف i به‌صورت مینیمم‌سازی باشد، مقدار نرمال شده آن از رابطه (۲۶) به دست می‌آید [۲۳] و [۲۴]:

$$f_i^{norm} = \frac{f_i - f_i^{min}}{f_i^{max} - f_i^{min}} \ , \ i = 1,2,3 \qquad (۲۶)$$

[1] Credibility-Based Possibilistic Programming
[2] Expected Value
[3] Chance-Constrained Programming
[4] Dependent Chance-Constrained Programming
[5] Xu
[6] Relative Deviation Index

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

در نتیجه رابطه برای دو هدف موردنظر برقرار است.

$$F = \sum_{i=1}^{3} \lambda_i * f_i^{norm} = \lambda_1 f_1^{norm} + \lambda_2 f_2^{norm} = \lambda_1 \left(\frac{f_i - f_i^{min}}{f_i^{max} - f_i^{min}} \right) + \lambda_2 \left(\frac{f_i - f_i^{max}}{f_i^{min} - f_i^{max}} \right) \quad (۲۷)$$

و ازآنجاکه اهداف متفاوت‌اند داریم:

$$F = \lambda_1 F_1^{norm} - \lambda_2 F_2^{norm} \quad (۲۸)$$

۶- محیط نگاری تحقیق

شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار چهار شعار اصلی را در جهت تأمین تجهیزات مرتبط با انواع کالاهای زیست و خواب، لوازم اداری و لوازم‌خانگی نیازهای رده‌های سازمان دنبال می‌کند. شعارهای این شرکت عبارت است از حمایت از تولید ملی، کیفیت، هزینه و پاسخگویی می‌باشد. با توجه به شعارها و ماهیت عملیاتی بودن این شرکت، بحث پاسخگویی در زنجیره تأمین و حمایت از تولید داخلی بر مبنای سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی و در جهت ایجاد اشتغال پایدار در سراسر کشور، سیاست شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار، متمرکز بر خرید کالاهای داخلی می‌باشد، مبحث بسیار مهمی است؛ لذا در این تحقیق هدف اصلی ایجاد یک زنجیره تأمین تاب‌آور و پاسخگو است که در هر شرایطی از اختلال و تحریم، تأمین کالا برای هیچ‌کدام از رده‌ها با مشکل مواجه نشود. هدف بعدی با توجه به سیاست‌های اقتصاد مقاومتی و در جهت ایجاد اشتغال در صنایع سراسر کشور این است که فرایند تأمین کالاها به سمت تأمین محلی سوق داده شده و فرایند ارسال مستقیم از کارخانه به مصرف‌کننده در دستور کار قرار گیرد. طوری که به‌جای سیاست تأمین متمرکز و ارسال غیرمستقیم (رویه‌ای که اکنون بیشتر مورداستفاده است) از سیاست تأمین غیرمتمرکز و ارسال مستقیم استفاده شده و ملاحظات مربوط به تاب‌آوری و پاسخگویی در آن لحاظ شود. زنجیره تأمین مرتبط با شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار یک زنجیره تأمین سه سطحی است که در سطح اول تولیدکنندگان به‌عنوان عرضه‌کننده کالاها برای شرکت و در سطح دوم، خود شرکت هم به‌عنوان تأمین‌کننده و هم هم‌زمان توزیع‌کننده کالا در زنجیره می‌باشد و در سطح سوم رده‌های کاربر قرار دارند. در فاز اولیه از طریق پرسشنامه معیارهای اصلی انتخاب تأمین‌کننده احصا و اهمیت و وزن معیارها تعیین می‌گردد. سپس در فاز دوم برای برنامه‌ریزی ریاضی فرایند تأمین تاب‌آور شرکت مدل تأمین تاب آور مسئله را که بومی‌شده کار ترابی و همکاران [۴] می‌باشد، پیاده‌سازی گردید. برای روایی و پایایی، پرسشنامه‌ها بین کل خبرگان جامعه آماری (۱۵ نفر) که شامل معاونین، مدیران ارشد، کارشناسان و مسئولین شرکت که آشنا با حوزه تأمین اقلام عمومی هستند توزیع شد. با توجه به هدف تحقیق که قرار است با یک مدل دوهدفه (شامل اهداف هزینه و تاب‌آوری) و با استفاده از روش‌های دقیق و فرابتکاری به یک نتیجه تعادلی برسد، ابتدا تأمین‌کننده‌های بالقوه سازمان برای محصولات مختلف با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی اولویت‌بندی و سپس تأمین‌کنندگانی با توجه به معیارهای انتخاب به دو دسته تأمین‌کننده نوع اول و دوم تقسیم‌بندی شده و به‌عنوان خروجی وارد فاز مدل‌سازی می‌شوند. در جدول (۲) معیارهای استفاده‌شده برای قضاوت خبرگان در پرسشنامه آورده شده است.

جدول (۲). معیارهای استفاده‌شده برای قضاوت خبرگان

معیار	زیر معیار	معیار	زیر معیار
هزینه	قیمت محصول	پاسخ‌گویی	انعطاف‌پذیری
	ثبات قیمت		سرعت پاسخگویی
	هزینه تدارک		کاهش زمان تحویل
کیفیت	تضمین کیفیت	وضعیت تأمین‌کننده	تجربه کاری و شهرت
	خدمات پس از فروش		وضعیت مالی
	قابلیت اطمینان محصول		مشروعیت و رعایت الزامات قانونی
تولید ملی	تولید داخل ایران بودن		
	نزدیکی فیزیکی تأمین‌کننده به‌منظور تأمین محلی		

پس از دریافت نظرات خبرگان بر اساس فرمول لاشه، روایی هر یک از سؤالات، با توجه به نظرات و نقطه برش ۰/۶ [۲۵] کلیه معیارها تأیید گردید. در این قسمت برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده، از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده و خروجی همان اوزانی است که درنهایت به‌عنوان ورودی مدل ریاضی استفاده می‌شود. در این مرحله با در اختیار داشتن وزن گزینه‌ها و نرمال کردن آن‌ها، می‌توان در مورد تعیین اوزان تأمین‌کنندگان تصمیم‌گیری نمود. نتایج حاصل از نرم‌افزار Expert Choice در مورد تعیین اوزان در جدول (۳) آمده است.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول (۳). امتیاز نهایی تأمین‌کنندگان کالاهای مختلف

محصول	توزیع‌کننده	تأمین‌کننده	وزن نهایی تأمین‌کننده	IR	رتبه نهایی تأمین‌کننده
تلویزیون	شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار	شهاب	۰/۳۶۱	۰/۰۷	۱
		صنام	۰/۲۹۷		۲
		سامسونگ	۰/۱۶۶		۴
		ال‌جی	۰/۱۷۷		۳
میز و صندلی	شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار	نوری	۰/۴۰۶	۰/۰۶	۱
		نیلپر	۰/۰۶۲		۴
		آرام‌گستر	۰/۱۷۹		۳
		رایانه صنعت	۰/۳۵۲		۲
رایانه	شرکت پشتیبانی اقلام عمومی ایثار	فدک پرداز	۰/۴۰۱	۰/۰۶	۱
		نیکان تجارت	۰/۲۰۳		۳
		الماس رایانه	۰/۳۲۵		۲
		الفبای کار امروز	۰/۰۵۹		۴

۷- الگوریتم‌های فراابتکاری

۷-۱- ساختار طراحی الگوریتم NSGA-II پیشنهادی

ساختار کلی طراحی‌شده الگوریتم NSGA-II پیشنهادی به‌صورت زیر می‌باشد.

گام (۱) لحاظ کردن پارامترهای ورودی؛ گام (۲) ایجاد جمعیت اولیه: در ابتدای الگوریتم، جمعیت اولیه به‌اندازه $npop$ بر مبنای مقیاس و قیود مسئله تولید می‌گردد. گام (۳) ارزیابی برازندگی تابع چندهدفه: در این گام، جمعیت تولیدشده بر مبنای تابع هدف مسئله، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد تا بهترین اعضای جمعیت که مقدار تابع هدف بهتری را برای مسئله در نظر می‌گیرند انتخاب شوند. گام (۴) روش مرتب‌سازی نامغلوب: در این مرحله، اعضای جمعیت مجموعه جواب‌های قابل‌قبول در داخل دسته‌هایی قرار می‌گیرند، به‌گونه‌ای که اعضای موجود در دسته اول، یک مجموعه کاملاً غیرمغلوب توسط دیگر اعضا جمعیت فعلی باشند. اعضای موجود در دسته‌های دوم نیز بر همین مبنا تنها توسط اعضای دسته اول مغلوب شده و این روند به همین صورت در دسته‌های دیگر ادامه یافته تا به تمام اعضای موجود در هر دسته، یک رتبه بر مبنای شماره دسته اختصاص داده شود. گام (۵) محاسبه پارامتر کنترلی به نام فاصله ازدحامی: این پارامتر برای هر عضو در هر گروه محاسبه و بیانگر اندازه‌ای از نزدیکی نمونه موردنظر به دیگر اعضای جمعیت آن دسته و گروه می‌باشد. برای هر یک از اعضای جمعیت k از مجموعه مرتب‌شده F_i و از شماره ۲ تا $n-1$ به‌صورت رابطه (۲۹) مراحل زیر را انجام دهید:

$$CD(i,k)=CD(i,k)+\frac{f_m(k+1)-f_m(k-1)}{f_m^{\max}-f_m^{\min}} \quad (۲۹)$$

گام (۶) انتخاب والد برای تولیدمثل: یکی از سازوکارهای انتخاب، برقراری تورنمت دوتایی میان دو عضو منتخب است که به‌طور تصادفی از میان جمعیت انتخاب می‌شوند. گام (۷) انجام عملیات تقاطع برای تولید فرزندان. گام (۸) انجام عملیات جهش برای تولید جهش‌یافتگان. گام (۹) یکپارچه کردن جمعیت (جمعیت اولیه، جمعیت تقاطع، جمعیت جهش‌یافتگان): در این گام جواب‌های اولیه و جواب‌های تولیدشده از انجام عملیات تقاطع و جهش را با هم تلفیق کرده و سپس بر مبنای رویکرد غلبگی، اعضای جمعیت را مرتب می‌کنیم. گام (۱۰) مرتب‌سازی جمعیت. گام (۱۱) در نظر گرفتن مجموعه‌ای از راه‌حل‌های نامغلوب. گام (۱۲) انتخاب و مرتب کردن جمعیت برای فرانت‌های موردنظر. گام (۱۳) اگر تعداد تکرار به‌اندازه تعیین‌شده رسید، اتمام و در غیر این صورت به گام ۳ برگردد. گام (۱۴) توقف و نتایج خروجی.

۷-۱-۱- عملگرهای ژنتیک

تقاطع: در این مسئله عملگر تقاطع به‌طور جداگانه روی هر بخش از کروموزوم انجام می‌گیرد. در هر دو بخش از عملگر تقاطع دونقطه‌ای استفاده شده است که نقاط شکست کروموزوم‌ها تصادفی برگزیده می‌شود. ازآنجایی‌که با جایگشت خود کروموزوم نمی‌توانیم عمل تقاطع را انجام دهیم، زیرا امکان تولید جواب‌های غیرممکن وجود دارد؛ بنابراین همانند آنچه در قسمت بازنمایی راه‌حل‌ها جواب توضیح داده شد، اعداد تصادفی بین صفر و یک به تعداد کل محصول‌ها در هر بخش کروموزوم تولید کرده و عمل تقاطع روی این اعداد انجام می‌گیرد. سپس نحوه تولید جواب همانند توضیحات مذکور خواهد بود.

جهش: برای کروموزوم‌های پیوسته ارائه‌شده در این تحقیق از جهش غیریکنواخت استفاده شده است. این جهش معمولاً میزان تغییر کوچکی در مقادیر ژن ایجاد می‌کند. در این جهش یک مقدار کوچک به مقدار فعلی ژن اضافه می‌شود. این مقدار اضافه‌شده به‌طور تصادفی از یک توزیع گوسی (نرمال) با میانگین صفر و انحراف معیار از پیش تعیین‌شده به دست می‌آید. برای والدی همانند x و فرزند جهش‌یافته y روابط زیر را داریم.

$$\Delta x \sim N(0,\delta^2) \qquad y=x+\Delta x \sim N(0,\delta^2) \qquad y=x+\delta N(0,1)$$

مکانیزم انتخاب: برای ایجاد جمعیت نسل آینده، تعدادی از کروموزوم‌های اولیه به‌عنوان جمعیت والد انتخاب می‌شوند و عملگر تقاطع و جهش روی آن اعمال می‌شود. در این تحقیق، از مکانیزم انتخاب مسابقه‌ای دودویی برای انتخاب والد استفاده می‌شود. یکی از ویژگی‌های مثبت این مکانیزم این است که نیاز

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

به هیچ اطلاعات سراسری از جمعیت ندارد؛ در عوض این عملگر هر جفت جواب را، مقایسه و رتبه‌بندی می‌کند و از لحاظ مفهومی ساده و برای پیاده‌سازی و کاربرد، سریع است. در این روش در هر مرحله، k جواب (با یا بدون جایگزینی) انتخاب شده و از میان آن‌ها، بهترین فرد از لحاظ برازندگی به‌عنوان والد انتخاب می‌شود و این کار r بار انجام می‌شود تا r والد انتخاب شوند. برای انتخاب بازماندگان هر نسل برای نسل آینده، اعضای جمعیت فعلی و جمعیت حاصل از تقاطع و جهش با توجه به برازندگی مرتب شده و از میان آن‌ها به‌اندازه پارامتر اندازه جمعیت انتخاب می‌شود.

۷-۱-۲- تنظیمات پارامترها برای الگوریتم‌های فراابتکاری

جهت تنظیم پارامتر الگوریتم‌های مورداستفاده در این تحقیق با توجه به رویکردهای متفاوتی شامل ارجاع به مطالعات صورت گرفته گذشته، روش سعی و خطا، روش تاگوچی [۲۶] و استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری (قبل از اجرا یا در حین اجرا)، از روش طراحی آزمایش‌های تاگوچی استفاده شده است. روش کار به این‌گونه است که یکسری از سطوح مختلف پارامترهای مؤثر بر الگوریتم، بر مبنای شاخص‌های ورودی که معمولاً از مقدار تابع هدف استفاده می‌شود، موردبررسی قرار گرفته و بهترین ترکیب پارامترها، بر اساس نتایج حاصل از آزمایش‌های صورت گرفته بر مبنای ((L9 (34) انتخابی، به‌عنوان مقادیر مطلوب جهت تنظیم پارامترها پیشنهاد می‌شود.

۷-۱-۳- پارامترهای کنترلی الگوریتم ژنتیک چندهدفه

برای تنظیم پارامترهای کنترلی این الگوریتم با مراجعه به تحقیقات پیشین نظیر [۲۴]، [۲۶] و [۲۷] و نیز بر اساس روش سعی و خطا، سطوح مختلف برای پارامترهای الگوریتم ژنتیک چندهدفه مطابق جدول (۴) است.

جدول (۴). پارامترهای احصا شده برای الگوریتم ژنتیک

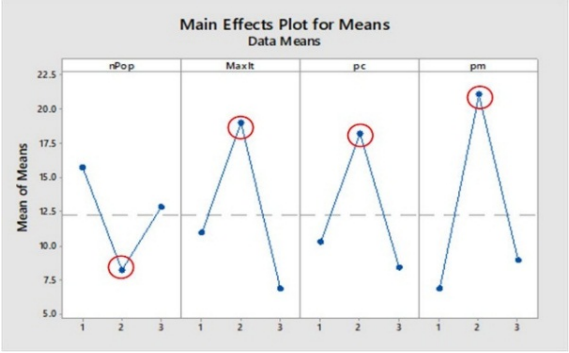
سطوح	NSGA-II			
	Maxit	pc	pm	nPop
	حداکثر تکرار	احتمال تقاطع	احتمال جهش	جمعیت
سطح ۱	۱۵۰	۰/۵	۰/۲	۲۵
سطح ۲	۱۰۰	۰/۷	۰/۳	۳۰
سطح ۳	۲۰۰	۰/۹	۰/۴	۴۵

سپس با استفاده از طراحی آزمایش‌ها و روش تاگوچی، طرح آزمایشی مناسب ((L9 (34) برای بررسی تأثیر پارامترها بر جواب الگوریتم ایجاد گردید؛ که در جدول (۵) نشان داده شده است.

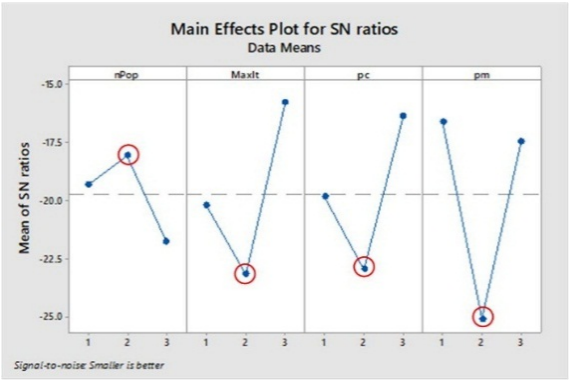
جدول (۵). آرایه **L9 (34)** برای الگوریتم **GA**

مقادیر جواب		پارامترهای الگوریتم		ترتیب اجرا
MID	Pc	Pm	nPop	
۶/۹۵۱۷	۱	۱	۱	۱
۳۷/۱۶۲	۲	۲	۱	۲
۳/۰۸۱۲	۳	۳	۱	۳
۹/۴۶۵	۱	۲	۲	۴
۵/۶۵۶۵	۳	۲	۲	۵
۹/۵۷۴۷	۱	۳	۲	۶
۱۶/۳۷۵۲	۳	۱	۳	۷
۱۴/۲۱۲۸	۱	۲	۳	۸
۷/۹۲۳۱	۲	۳	۳	۹

محاسبات مربوط به آزمایشات تاگوچی مطابق شکل (۱) و (۲) می‌باشد.



شکل (۱). میانگین جواب‌ها حاصل از نرم‌افزار مینی‌تب برای تنظیم پارامترهای **NSGA-II**



شکل (۲). میانگین نسبت اغتشاشات حاصل از نرم‌افزار مینی‌تب برای تنظیم پارامترهای NSGA-II

همان‌طور که در قسمت‌های قبلی توضیح داده شد، بر اساس شکل میانگین جواب‌ها و نسبت اغتشاشات، پارامترهای کنترلی اندازه جمعیت، حداکثر تکرار، احتمال تقاطع و احتمال جهش، به

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

ترتیب در سطوح ۲، ۳، ۳ و ۱ قرار گرفتند. پارامترهای کنترلی الگوریتم ژنتیک چندهدفه پیشنهادی مطابق جدول (۶) است.

جدول (۶). مقادیر ایده‌ال تنظیم‌شده الگوریتم **NSGA-II**

NSGA-II			
pm	**pc**	**MaxIt**	**NPop**
۰/۲	۰/۹	۲۰۰	۳۰

۷-۲- پارامترهای کنترلی الگوریتم MOPSO

برای تنظیم پارامترهای کنترلی این الگوریتم با مراجعه به تحقیقات پیشین نظیر [۲۴]، [۲۶] و [۲۷] و نیز بر اساس روش سعی و خطا، سطوح مختلف برای پارامترهای الگوریتم ژنتیک چندهدفه مطابق جدول (۷) است.

جدول (۷). پارامترهای احصا شده برای الگوریتم بهینه‌سازی ذرات

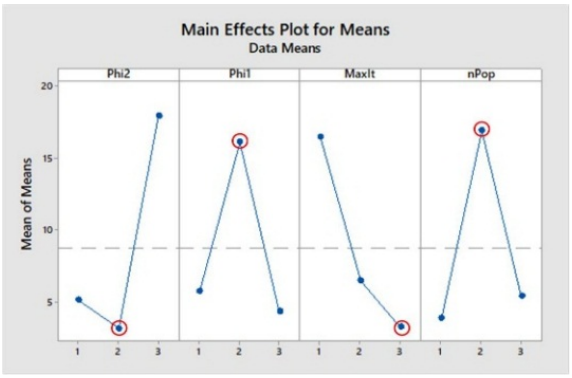
پارامترهای الگوریتم		پائین	متوسط	بالا
اندازه جمعیت		۱۵	۳۰	۴۵
ضرایب سرعت	ضریب اینرسی	۱	۲	۳
	ضریب نستالوژی	۱	۲	۳
	ضریب جامعه	۱	۲	۳
تعداد اعضا مخزن		۴۰	۵۰	۶۰
حداکثر تکرار		۱۵۰	۱۰۰	۲۰۰

سپس با استفاده از طراحی آزمایش‌ها و روش تاگوچی، طرح آزمایشی مناسب ((L9 (34)) برای بررسی تأثیر پارامترها بر جواب الگوریتم ایجاد گردید؛ که در جدول (۸) نشان داده شده است.

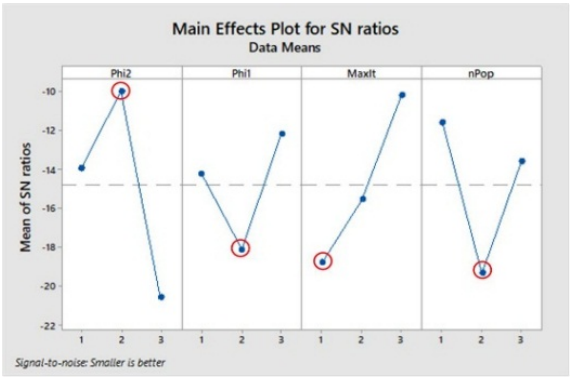
جدول (۸). آرایه **L9 (34)** برای الگوریتم **PSO**

ترتیب اجرا	پارامترهای الگوریتم				مقادیر جواب
	nPop	**nRep**	**Ph1**	**ph2**	**MID**
۱	۱	۱	۱	۱	۴/۹۹۵۶
۲	۱	۲	۲	۲	۳/۴۳۶۷
۳	۱	۳	۳	۳	۳/۱۸۰۷
۴	۲	۱	۲	۳	۴۱/۰۱۹۶
۵	۲	۲	۳	۱	۶/۶۶۹۴
۶	۲	۳	۱	۲	۲/۹۱۳۱
۷	۳	۱	۳	۲	۳/۱۷۰۱
۸	۳	۲	۱	۳	۹/۳۴۵۷
۹	۳	۳	۲	۱	۳/۷۰۲۴

محاسبات مربوط به آزمایشات تاگوچی مطابق شکل (۳) و (۴) می‌باشد.



شکل (۳). میانگین جواب‌ها حاصل از نرم‌افزار مینی‌تب برای تنظیم پارامترهای **MOPSO**



شکل (۴). میانگین نسبت اغتشاشات حاصل از نرم‌افزار مینی‌تب برای تنظیم پارامترهای **MOPSO**

همان‌طور که در قسمت‌های قبلی توضیح داده شد، بر اساس شکل میانگین جواب‌ها و نسبت اغتشاشات، پارامترهای کنترلی اندازه جمعیت، حداکثر تکرار، ضریب نوستالژی و ضریب هوش جمعی، به ترتیب در سطوح ۲، ۱، ۲ و ۱ قرار گرفتند. پارامترهای کنترلی الگوریتم MOPSO پیشنهادی مطابق جدول (۹) است.

جدول (۹). مقادیر ایدئال تنظیم‌شده برای الگوریتم **MOPSO**

MOPSO			
ph2	Ph1	MaxIt	**nPop**
۳	۲	۱۵۰	**۴۵**

۸- پارامترهای عمومی موردنیاز برای حل مسئله

پارامترهای در نظر گرفته شده برای مدل مسئله با مشورت مدیران میانی معاونت آماد و پشتیبانی (سازمان موردمطالعه) انتخاب شده است ولی با توجه به مشکلاتی که در دریافت داده از معاونت مربوطه وجود داشت، داده‌های مورداستفاده در این مسئله فرضی است و نحوه تولید داده‌ها در این تحقیق، تقریباً مشابه

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

نحوه تولید داده‌ها در تحقیق ترابی و همکاران [۲۲] می‌باشد. پارامترهای موردنیاز برای حل مدل در جدول (۱۰) نشان داده شده است.

جدول (۱۰). پارامترهای موردنیاز برای حل مدل

پارامتر	مقادیر	پارامتر	مقادیر
$\tilde{d}_k$	Ui [1,5]*1000	R_k	[0.1, 0.2]
$\tilde{A}_i$	Ui [5,10]*100	LT_i	
$\tilde{f}_i$	Ui [3000,5000]	LT_i'	Ui[5, 15] + LT
$\tilde{p}_{ik}$ $i \in I$	Ui [5,10]	π_{ie}	U[0.01, 0.05]
$\tilde{p}_{ik}$ $i \in j$	Ui [11,15]	P_s	U[1, 10]/10
$\tilde{p}'_{ik}$	$\tilde{p}_{ik}$ + 10	θ_{ie}	Ui[100, 200]
β_{ieu}	U [0.01,0.05]	b_{wk}	U [1,2]
RT_{ie}^{l}	Ui [1,2]	n	4
M	۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰	$\tilde{h}_{ik}$	Ui [1000,4000]
CL_{ie}^{l}	U [0.6,0.8]	$\tilde{h}_{wk}$	Ui [500,2000]
b_{ik}	Ui [2,3]	Ca_w	Ui [100,200]*1000
Sc_i	Ui [20,80]*1000	Ca_i	Ui [1,6]*1000
FR_{iu}	Ui [1000,3000]	a_{ik}	Ui [20,80]

۹- اعتبارسنجی الگوریتم‌های پیشنهادی

به‌منظور اعتبارسنجی مدل ریاضی برای مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین تاب‌آور، یک مسئله در ابعاد کوچک با روش دقیق (به کمک نرم‌افزار GAMS) حل شد. در ادامه به ساختار الگوریتم‌های چندهدفه ژنتیک و بهینه‌سازی ذرات که برای حل این مسئله پیشنهاد شده است، پرداخته شد. به‌منظور اثبات کارایی الگوریتم فراابتکاری، نتایج حل الگوریتم NSGA-II و MOPSO با نتایج حل به‌وسیله نرم‌افزار GAMS مقایسه می‌شوند. پارامترهای الگوریتم فراابتکاری مواردی هستند که از محاسبات مربوط به تنظیم پارامترها در جدول (۶) و جدول (۹) و روش سعی و خطا محاسبه شده‌اند. در ادامه به‌منظور اثبات کارایی الگوریتم پیشنهادی، ۵ مسئله طراحی و با روش دقیق و فراابتکاری حل شده و نتایج مقایسه می‌شوند. اندازه مسائل تأمین-توزیع اقلام عمومی در جدول (۱۱) نشان داده شده است.

با توجه به اینکه روش دقیق قادر به بهینه‌سازی هم‌زمان هر دو تابع هدف نمی‌باشد؛ لذا دو تابع هدف با کمک هم‌فاز کردن و با در نظر گرفتن وزن‌های یکسان مطابق رابطه (۲۸) به یک تابع هدف تبدیل شده و در نهایت با اعمال مفروضات مسئله توسط روش‌های GAMS، NSGA-II و MOPSO حل می‌شود. مقادیر توابع هدف در جدول (۱۲) نمایش داده شده است. مقدار انحراف یا اختلاف تابع هدف (جواب) هر الگوریتم پیشنهادی نسبت به حل دقیق از رابطه (۳۰) محاسبه می‌شود:

$$\text{درصد اختلاف جواب} = \left|\frac{\text{جواب روش دقیق} - \text{جواب الگوریتم فراابتکاری}}{\text{جواب روش دقیق}}\right| \times 100 \quad (۳۰)$$

و به‌منظور مقایسه زمان حل و بررسی معیار میانگین شکاف بین الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی ذرات از معادله (۳۱) استفاده می‌شود:

$$\text{درصد اختلاف جواب} = \left|\frac{\text{جواب الگوریتم فراابتکاری } MOPSO - \text{جواب الگوریتم فراابتکاری } NSGA\ II}{\text{جواب الگوریتم فراابتکاری پرش } MOPSO}\right| \times 100 \quad (۳۱)$$

در جدول (۱۲) به تفکیک هر تابع هدف، مقادیر مربوط به دو تابع هدف مذکور، زمان حل و مقدار خطای الگوریتم‌های فراابتکاری نسبت به حل دقیق GAMS برای هر مسئله آورده شده است. همچنین میزان خطای الگوریتم NSGA-II نسبت به الگوریتم MOPSO نیز محاسبه شده است.

جدول (۱۱). ابعاد مسائل طراحی شده

شماره مسئله	محصول	تأمین کننده	تأمین‌کننده نوع۱	تعداد حادثه	تعداد انبارهای شرکت
۱	۲	۳	۲	۲	۱
۲	۲	۳	۲	۳	۲
۳	۳	۴	۱	۲	۳
۴	۳	۴	۱	۳	۲
۵	۴	۴	۱	۳	۳
۶	۴	۵	۱	۲	۴
۷	۶	۴	۲	۳	۳
۸	۶	۴	۲	۴	۳
۹	۸	۴	۳	۳	۴
۱۰	۸	۶	۲	۲	۳

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول (۱۲): نتایج حاصل از نرم‌افزار **GAMS** و الگوریتم‌های فراابتکاری در ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ

شماره مسئله	اندازه مسئله k/ v / i / e/w	تابع هدف	GAMS		NSGA-II			MOPSO			درصد خطای NSGA-II نسبت به MOPSO	متوسط درصد خطای NSGA-II در هر مسئله	متوسط درصد خطای MOPSO در هر مسئله
			مقدار تابع هدف	زمان حل (ثانیه)	مقدار تابع هدف	درصد خطا	زمان حل (ثانیه)	مقدار تابع هدف	درصد خطا	زمان حل (ثانیه)			
۱	۲×۳×۲×۲×۱	F_1	۷۱۸۰	۲۶/۳۵۲	۷۳۴۲,۰۰	۲/۲۶	۳۶/۷۲۳	۷۲۵۶	۱/۰۶	۳۰/۴۳۱	۱/۱۹	۲/۲۰	۸
		F_2	۲۱۴۳		۲۱۸۹	۲/۱۵		۲۱۵۶	۰/۶۱		۱/۵۳		
۲	۲×۳×۲×۳×۲	F_1	۳۳۴۳۲	۵۹/۳۶۵	۳۳۵۲۱	۰/۲۷	۱۰۱/۸۱۵	۳۴۱۵۱	۲/۱۵	۶۱/۷۷۳	۱/۸۴	۱/۴۷	۴/۴۸
		F_2	۴۵۶۳		۴۶۸۵	۲/۶۷		۴۸۷۴	۶/۸۲		۳/۸۸		
۳	۳×۴×۱×۲×۳	F_1	۴۸۲۲۲	۱۰۱/۲۵۴	۴۹۵۶۳	۲/۷۸	۱۲۳/۵۳۹	۴۸۶۲۳	۰/۸۳	۸۳/۸۱۸	۱/۹۳	۳/۴۵	۴/۵۴
		F_2	۶۳۲۴		۶۵۸۴	۴/۱۱		۶۸۴۵	۸/۲۴		۳/۸۱		
۴	۳×۴×۱×۳×۲	F_1	۴۷۰۱۶	۵۲۳/۶۹۸	۴۸۷۵۲	۳/۶۹	۲۰۲/۹۱۵	۴۷۶۹۸	۱/۴۵	۱۱۱/۶۷۸	۲/۲۱	۳/۰۹	۲/۹۰
		F_2	۸۷۴۵		۸۹۶۳	۲/۴۹		۹۱۲۵	۴/۳۵		۱/۷۸		
۵	۴×۴×۱×۳×۳	F_1	۵۲۱۴۵	۱۵۲۳/۳۶۹	۵۲۴۵۶	۰/۶	۴۴۸/۷۵۳	۵۲۱۸۷	۰/۰۸	۲۴۹/۱۵۹	۰/۵۲	۱/۷۷	۱/۹۵
		F_2	۱۱۵۲۳		۱۱۸۶۳	۲/۹۵		۱۱۹۶۳	۳/۸۲		۰/۸۴		
۶	۴×۵×۱×۲×۴	F_1	۹۹۳۴۰	۲۵۳۶/۳۵۲	۸۳۲۴۷	۲/۱۱-	۷۷۸/۹۷۷	۸۲۳۶۵	۰/۹۸	۳۸۶/۱۶	۱/۱۴	+۰/۳۸	۳/۴۹
		F_2	۱۵۱۲۱		۱۵۳۲۴	۱/۳۴		۱۶۳۲۵	۷/۷۶		۶/۱۳		
۷	۶×۴×۲×۳×۳	F_1	.....	.....	۹۹۶۷۴	.....	۱۰۹۳/۶۹	۱۰۰۲۵۶	.....	۵۵۰/۲۴۱	۰/۵۸	.....	.....
		F_2	.....		۲۱۳۶۵	.....		۲۲۳۶۵	.....		۴/۴۷		
۸	۶×۴×۲×۴×۳	F_1	.....	.....	۱۲۴۹۸۵	.....	۱۴۹۴/۴۱	۱۲۳۵۴۲	.....	۷۴۰/۵۲۳	۱/۱۷	.....	.....
		F_2	.....		۳۲۵۴۶	.....		۳۱۲۴۷	.....		۴/۱۶		
۹	۸×۴×۳×۳×۴	F_1	.....	.....	۱۹۵۳۰۱	.....	۱۷۶۷/۴۷	۱۹۶۳۲۸	.....	۹۰۹/۴۱	۰/۵۲	.....	.....
		F_2	.....		۴۲۵۶۳	.....		۴۱۲۳۸	.....		۳/۲۱		
۱۰	۸×۶×۲×۲×۳	F_1	.....	.....	۲۰۱۸۵۶	.....	۱۹۰۵/۴۲	۲۰۱۱۸۷	.....	۱۱۵۱/۴۸۶۰	۰/۳۳	.....	.....
		F_2	.....		۶۲۱۱۱	.....		۶۱۸۹۰	.....		۰/۳۶		
											۲/۰۸	۲/۴۰	۲/۹۴

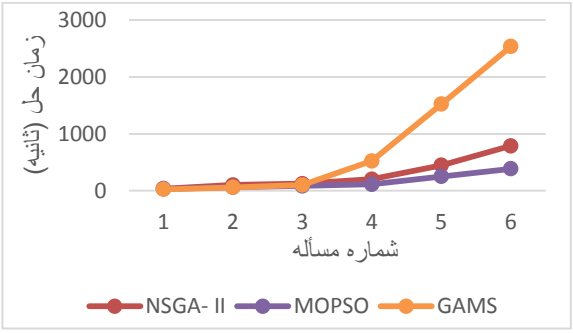
با توجه به نتایج جدول (۱۲) مقادیر حاصل از الگوریتم NSGA-II به مقادیر GAMS نزدیک‌تر است. همچنین با توجه به پارامترهای ورودی و با گسترش ابعاد مسئله، مقدار هزینه‌ها افزایش می‌یابد. افزایش تابع هزینه باعث کاهش تابع هزینه تاب‌آوری و در نتیجه باعث افزایش تاب‌آوری می‌شود. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد با گسترش ابعاد مسئله زمان حل دقیق به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد اما این تغییر برای الگوریتم‌های فراابتکاری مورداستفاده روند خطی و منظمی را طی می‌کند. در جدول (۱۳) و نمودار (۱) زمان رسیدن به جواب در ۵ مسئله اول (به تفکیک روش‌های حل) نشان داده شده است.

جدول (۱۳). زمان حل مسائل نمونه در روش فراابتکاری و دقیق

شماره مسئله	GAMS	NSGA- II	MOPSO
۱	۲۶/۳۵۲	۳۶/۷۲۳	۳۰/۴۳۱
۲	۵۹/۳۶۵	۱۰۱/۸۱۶	۶۱/۷۷۳
۳	۱۰۱/۲۵۴	۱۲۳/۵۳۹	۸۳/۸۱۸
۴	۵۲۳/۶۹۸	۲۰۲/۹۱۵	۱۱۱/۶۷۸
۵	۱۵۲۳/۳۶۹	۴۴۸/۷۵۴	۲۴۹/۱۵۹
۶	۲۵۳۶/۳۵۲	۷۷۸/۹۷۷	۳۸۶/۱۶

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

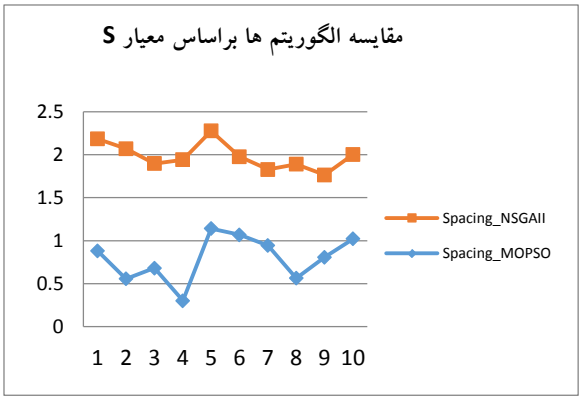


نمودار (۱). نمایش مقایسه‌ای زمان حل مسائل نمونه با روش فرابتکاری و دقیق

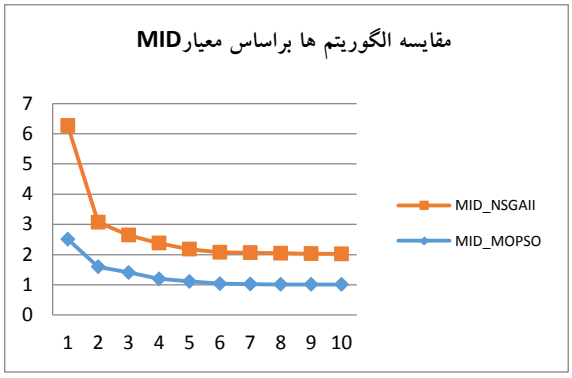
۱۰- شاخص‌های مقایسه‌ای الگوریتم‌های چندهدفه [۲۸]

برای ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های فرابتکاری چندهدفه دو دسته شاخص اندازه‌گیری اصلی وجود دارد: ۱) شاخص‌های همگرایی ۲) شاخص‌های پراکندگی. در این تحقیق برای انجام مقایسه، از پنج شاخص که ترکیبی از شاخص‌های هر دو دسته اصلی می‌باشد، معرفی شده است. معیارهای دسته اول شامل تعداد جواب پارتو، فاصله از جواب ایدئال و معیارهای مربوط به دسته دوم شامل فاصله‌گذاری، بیش‌ترین گسترش و همچنین معیار زمان اجرای الگوریتم برای مقایسه نیازمندی‌های محاسباتی است. در این پژوهش از این شاخص‌ها برای انجام مقایسه بین الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی غیرمغلوب و الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه با مرتب‌سازی غیرمغلوب استفاده خواهد شد. لازم به ذکر است که نمودارهای (۲) تا (۵) عملکرد الگوریتم‌های فرابتکاری را در مدل دفازی شده در حالت بدبینانه (LAM) و جدول (۱۴) عملکرد الگوریتم‌ها را در حالت خوش‌بینانه (UAM) مورد مقایسه قرار می‌دهد.

در مدل LAM از مقایسه الگوریتم‌ها، الگوریتم NSGA-II بر اساس معیار NPS و Diversity از مطلوبیت بالاتری برخوردار است.

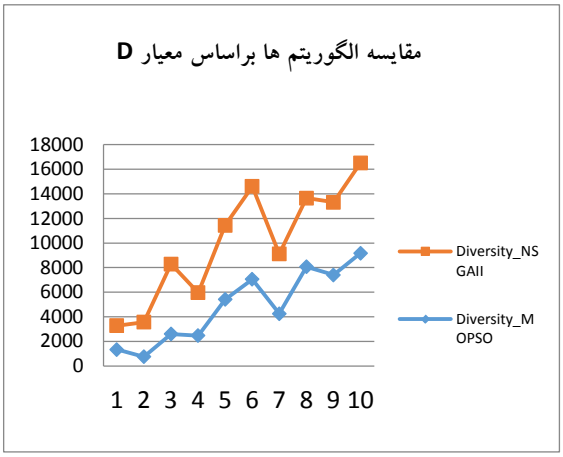


نمودار (۲). نمودار مقایسه الگوریتم‌های NSGA-II و MOPSO بر اساس معیار S

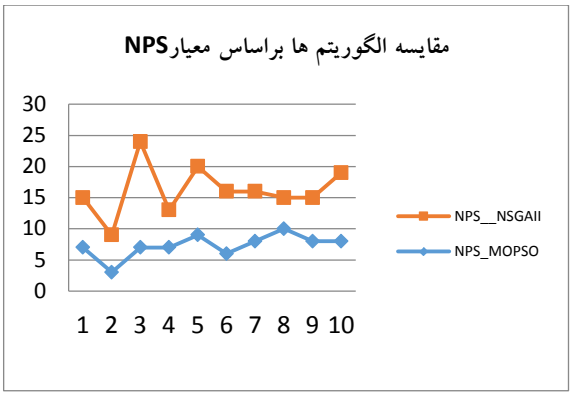


نمودار (۳). نمودار گرافیکی مقایسه الگوریتم‌های NSGA-II و MOPSO بر اساس معیار MID

از مقایسه الگوریتم‌ها در مدل LAM، الگوریتم MOPSO بر اساس معیار Time و MID و Spacing از مطلوبیت بالاتری برخوردار است.



نمودار (۴). نمودار گرافیکی مقایسه الگوریتم‌های **NSGA-II** و **MOPSO** بر اساس معیار **D**



نمودار (۵). نمودار گرافیکی مقایسه الگوریتم‌های **NSGA-II** و **MOPSO** بر اساس معیار **NPS**

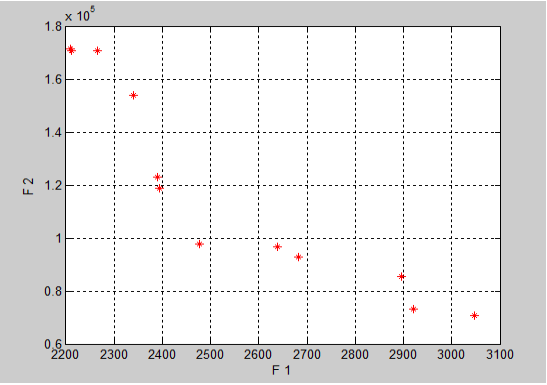
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول (۱۴). مقادیر الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌سازی ذرات به ازای شاخص‌های مقایسه‌ای

شماره مسئله	محصول	اندازه مسئله k/v/I/e/w	تابع هدف	NSGA-II مقدار تابع هدف	MID	MD	Spacing	NPS	T (s)	MOPSO مقدار تابع هدف	MID	MD	Spacing	NPS	T (s)
۱	تلویزیون	3×4×1×3×2	F_1	۴۷۰۱۶	* ۱/۰۲۳۲	* ۷۰۳/۸۲	۱/۱۰۳۳	۱۰	* ۱۲/۹۷	۴۸۱۷۴	۱/۰۷۵۲	۲۵۹/۳۶	* ۱/۰۱۸۶	* ۱۵	۲۵/۲۳
			F_2	۸۷۴۵						۹۲۳۱					
			RE	۰/۸۵						۰/۷۸					
۲	تلویزیون	3×4×1×3×2	F_1	۴۸۱۲۳	* ۱/۰۲۸	* ۹۷۷/۳۳	۱/۶۱۶	* ۱۴	* ۱۳/۰۱	۴۹۲۳۱	۱/۰۴۴۹	۲۵۲/۲۷	* ۱/۰۷۶۸	۱۲	۲۴/۸۶
			F_2	۸۲۵۴						۸۹۶۲					
			RE	۰/۸۳						۰/۸۲					
۳	تلویزیون	3×4×1×3×2	F_1	۴۹۸۵۶	۱/۰۷۵۴	* ۴۱۳/۴۱	* ۰/۹۹۶۴۹	* ۱۰	* ۱۲/۹۰	۴۸۹۸۷	* ۱/۰۲۷	۱۲۱/۷۸	۱/۰۹۵۲	۷	۲۴/۹۶
			F_2	۷۹۸۸						۸۴۵۶					
			RE	۰/۹۱						۰/۸۴					
۴	تلویزیون	3×4×1×3×2	F_1	۴۸۲۱۴	۱/۰۳۲۹	* ۸۷۹/۱۳	۱/۱۵۳۴	* ۱۸	* ۱۳/۰۲	۴۸۵۱۲	* ۱/۰۲۶	۱۵۶/۶۹	* ۰/۸۹۴۴	۷	۲۴/۹۹۸
			F_2	۸۷۹۲						۹۳۸۴					
			RE	۰/۷۹						۰/۷۶					
۵	تلویزیون	3×4×1×3×2	F_1	۴۸۹۶۳	* ۱/۲۰۱	* ۳۹۲/۳۲	* ۰/۹۹۰۵	* ۱۲	* ۱۲/۹۸	۴۹۳۶۹	۱/۲۸۶	۱۶۸/۸۸	۱/۰۸۵۹	۱۱	۲۴/۸۸
			F_2	۸۰۱۲						۹۴۲۱					
			RE	۰/۸۷						۰/۷۵					
۶	تلویزیون	3×4×1×3×2	F_1	۴۹۲۵۶	* ۱/۰۱۶۴	* ۴۴۴/۱۶	۱/۲۰۱۳	* ۱۴	* ۱۲/۹۸	۴۸۳۶۵	۱/۰۵۸۱	۱۲۰/۰۸	* ۰/۹۰۹۲	۵	۲۴/۸۴
			F_2	۸۶۵۴						۹۶۸۷					
			RE	۰/۸۸						۰/۷۳					

با توجه به حل مدل UAM و ارزیابی جدول (۱۴) مفاهیمی استنباط می‌شود که در تمامی مسائل از نظر زمان حل، الگوریتم ژنتیک عملکرد بهتری داشته است. در مسئله پنجم با توجه شاخص‌های مقایسه‌ای، الگوریتم ژنتیک عملکرد بهتری از خود نشان داده است. از نظر معیار گستردگی فضای جواب (MD) در تمام مسائل الگوریتم ژنتیک عملکرد بهتری داشته است. از نظر معیار تعداد جواب‌های پارتو (NPS) به غیر از مسئله اول در سایر مسائل الگوریتم ژنتیک عملکرد بهتری داشته است. با توجه به جدول (۱۴) و برتر بودن الگوریتم ژنتیک، با تنظیم پارامترهای این الگوریتم و با استفاده از داده‌های فرضی ایجادشده برای مسئله ۵، اقدام به حل بهینه برای این مسئله می‌کنیم. ابتدا این مقادیر پارامترها را وارد الگوریتم کرده و سپس داده‌های فوق را به‌عنوان داده‌های مسئله نمونه وارد می‌کنیم. پس از اجرای الگوریتم، جمعیت اولیه مطابق آنچه شرح داده شد تولید می‌شود و نسل‌های جدید جواب هم مطابق قوانین الگوریتم NSGA-II و آنچه تشریح شد، تولید می‌شود و در هر مرحله، برازندگی جواب‌ها محاسبه شده و با هم مقایسه می‌شوند. با توجه به جدول (۴)، برای مسئله ۵، تعداد جمعیت اولیه الگوریتم ژنتیک ۲۵ و حداکثر تکرار ۱۵۰ در نظر گرفته شده است. پس از اجرای الگوریتم پرش ژنتیک چندهدفه، سطحی از جبهه نامغلوب جواب نهایی مسئله مذکور به دست می‌آید که در شکل (۵) نشان داده شده است:



شکل (۵). جبهه نامغلوب جواب نهایی مسئله ۵ با ابعاد ۳×۴×۱×۳×۲ توسط الگوریتم ژنتیک

۱۱- تحلیل حساسیت روی ضرایب توابع هدف

همان‌طور که قبلاً هم اشاره شد یکی از روش‌هایی که مسئله را با آن تحلیل کردیم استفاده از روش دقیق گمز بود. برای تمام حالات حل مدل با روش دقیق مقدار ضریب هر سه تابع هدف را

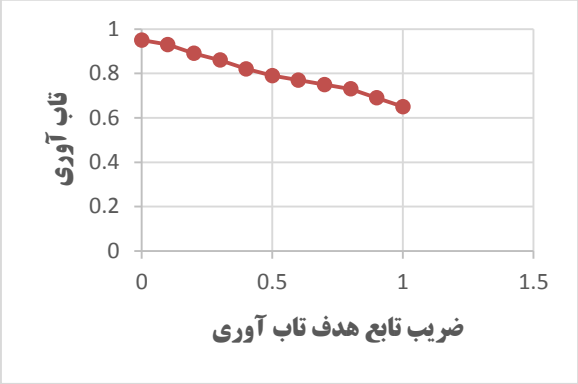
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

یکسان و برابر ۰٫۵ در نظر گرفتیم. حال فرض کنید توابع هدف تاب‌آوری برای مدیریت سازمان از اهمیت بالاتری برخوردار باشد. ازاین‌رو در هر بار حل مدل، ضرایب تابع هدف دوم مدل را افزایش می‌دهیم و با استفاده از نتایج، نقش تاب‌آوری را بر روی هزینه‌ها بررسی می‌کنیم که در جدول (۱۵) نشان داده شده است. مطابق جدول (۱۵)، افزایش تاب‌آوری شبکه تأمین (ستون ماقبل آخر) مستلزم افزایش هزینه (ضرایب ستون سوم) و کاهش استفاده از تأمین‌کننده پشتیبان و ذخیره موجودی اضطراری (ضرایب ستون چهارم) است. به‌عنوان نمونه ردیف ۴ جدول (۱۵) نشان می‌دهد که برای ایجاد حداقل ۸۶ درصد تاب‌آوری شبکه تأمین، می‌توان تا ۳۰ درصد استفاده از اقلام تأمین‌کنندگان پشتیبان و ذخیره موجودی اضطراری را کاهش داد و در عوض تا ۷۰ درصد هزینه‌های ثابت عقد قرارداد، خرید و انتقال از تأمین‌کنندگان عمده و اصلی را افزایش داد. همچنین ردیف ۸ نشان می‌دهد چنانچه توقع مدیران در مورد تاب‌آوری شبکه تأمین، از ۸۶ درصد به ۷۵ درصد تقلیل یابد، می‌توان استفاده از اقلام تأمین‌کنندگان پشتیبان و ذخیره موجودی اضطراری را تا ۷۰ درصد افزایش داد و هزینه‌های ثابت عقد قرارداد، خرید و انتقال از تأمین‌کنندگان عمده و اصلی را به ۳۰ درصد کاهش داد.

جدول (۱۵). تحلیل حساسیت

مسئله	ردیف	ضریب تابع هدف هزینه	ضریب تابع هدف تاب-آوری	هدف (۱)	هدف (۲)	تاب‌آوری RE	T (s)
۵	۱	۱	۰	۴۸۹۶۳	۸۰۱۲	۰/۹۵	۱۰۳/۵۵
	۲	۰/۹	۰/۱	۴۹۳۶۸	۸۱۲۴	۰/۹۳	۶۸/۳۵
	۳	۰/۸	۰/۲	۴۹۷۹۶	۸۴۴۵	۰/۸۹	۸۰/۸۳
	۴	۰/۷	۰/۳	۵۰۲۳۱	۸۷۵۲	۰/۸۶	۵۸/۸۷
	۵	۰/۶	۰/۴	۵۰۶۳۲	۸۹۳۷	۸۲.	۶۷/۷۵
	۶	۰/۵	۰/۵	۵۰۹۶۳	۹۱۲۸	۰/۷۹	۸۰/۳۰
	۷	۰/۴	۰/۶	۵۱۴۷۵	۹۳۵۴	۰/۷۷	۹۰/۶۵
	۸	۰/۳	۰/۷	۵۱۶۶۹	۹۶۸۷	۰/۷۵	۶۳/۴۵
	۹	۰/۲	۰/۸	۵۲۱۲۸	۹۸۶۳	۰/۷۳	۷۵/۸۷
	۱۰	۰/۱	۰/۹	۵۲۴۸۵	۱۰۲۵۱	۰/۶۹	۶۲/۰۸
	۱۱	۰	۱	۵۲۷۸۹	۱۰۵۴۲	۰/۶۵	۶۴/۶۷



نمودار (۶). اثر افزایش ضریب تابع هدف تاب‌آوری روی مقدار تاب‌آوری

۱۲- نتیجه‌گیری

مسئله موردبررسی از دنیای واقعی با پارامترهای فازی مدل‌سازی شده و سپس به‌وسیله الگوریتم‌های چندهدفه بهینه‌سازی ذرات و ژنتیک اجرا گردید. ابتدا در فاز اول به تعیین اوزان تأمین‌کنندگان و سپس به رتبه‌بندی آن‌ها پرداخته و داده‌های خروجی موردنظر، در فاز دوم به‌عنوان ورودی مدل ریاضی پیشنهادی در نظر گرفته شد. برای مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم NSGA-II و MOPSO با کمک شاخص‌های مقایسه‌ای، ابتدا به کمک نرم‌افزار مینی‌تب مقادیر پارامترهای کنترلی تعیین شد، سپس چند نمونه مسئله از دنیای واقعی در این زمینه حل شد. نتایج حاصل از مقایسه این الگوریتم‌ها بیانگر این امر است که در مدل UAM (که حالت‌های خوش‌بینانه را در نظر می‌گیرد) الگوریتم ژنتیک عملکرد بهتری دارد و در مدل LAM (که حالت‌های بدبینانه را در نظر می‌گیرد)، الگوریتم MOPSO عملکرد بهتری ارائه می‌دهد. نتایج حاصل از الگوریتم NSGA-II و MOPSO برای مسئله نمونه طراحی‌شده، نشان می‌دهد که الگوریتم NSGA-II در معیارهای مختلف، بهتر از الگوریتم MOPSO عمل کرده است. به‌طور نمونه در زمان حل و معیار فاصله از نقطه ایدئال، در تمام مسائل عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم دیگر دارد. همچنین در این تحقیق، با تحلیل حساسیت تابع هدف هزینه (عقد قرارداد، خرید و انتقال از تأمین‌کنندگان عمده و اصلی) و نیز تابع هدف استفاده از تأمین‌کننده پشتیبان و ذخیره موجودی اضطراری، راهکارهای مدیریتی توصیه گردید. با توجه به این نتایج، مدیران می‌توانند افزایش هزینه‌های ناشی از افزایش تاب‌آوری را موازنه نموده و رویکرد مناسب تاب‌آوری را اتخاذ کنند.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۱۳- منابع

[1] S.M. Hatefi and F. July, "Design of reliable and stable direct reverse inbound networks in conditions of uncertainty," PhD Thesis, University of Tehran, 2013. (In Persian)

[2] R. ghesmati and M. S. pishvahy, "Supply chain network design with simultaneous consideration of reliability and stability under conditions of uncertainty and disruption risk," M.Sc. Thesis, Iran University of Science and Technology, 2014. (In Persian)

[3] S. Chopra, "Designing the distribution network in a supply chain," Transp. Res, vol. 39, pp. 123-140, 2003.

[4] S. A. Torabi, M. Baghersad, and S. Mansouri, "Resilient supplier selection and order allocation under operational and disruption risks," Transportation Research Part E, vol. 79, pp. 22-48, 2015.

[5] M. S. Pishvaee and R. Zanjirani Farahani, "A model for integrated design of direct and reverse logistics network in a supply chain of master's thesis," Master's thesis-Amirkabir University, Tehran, 2008.

[6] B. E A. Wafa, et al., "Supply chain optimization of petroleum organization under uncertainty in market demands and prices," European Journal of Operational Research, vol. 189, no. 3, pp. 822-840, 2008.

[7] B. S. R, A. P. B.-P. Leão José Fernandesa, "Downstream Petroleum Supply Chain Planning under Uncertainty," Computer Aided Chemical Engineering, vol. 37, pp. 1889–1894, 2015.

[8] A. Hasani, S. H. Zegordi and E. Nikbakhsh, "Robust closed-loop supply chain network design for perishable goods in agile manufacturing under uncertainty," International Journal of Production Research, vol. 50, no. 16, pp. 4649–4669, 2012.

[9] A. Jabbarzadeh, B. Fahimnia, "Marrying supply chain sustainability and resilience: A match made in heaven," Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, vol. 91, pp. 306–324, 2016.

[10] Y. Kristianto, et al., "A model of resilient supply chain network design: A two-stage programming with fuzzy shortest path," Expert Systems with Applications, vol. 41, pp. 39-49, 2014.

[11] M. S. Pishvaee, S.A. Torabi, and J. Razmi, "Credibility-based fuzzy mathematical programming model for green logistics design under uncertainty," Comput. Ind. Eng, vol. 62, pp. 624-632, 2012.

[12] M. Farshbaf Granmayeh, M. Rabbani, and N. Manavizadeh, "Multi-objective design of supply chain taking into account the risk of disruption of facilities, supply and demand in the uncertainty of economic parameters," Journal of Industrial Management Studies, vol. 13(37), pp. 5-34, 1394. (In Persian)

[13] S. M. Hatefi and F. July, "Design of reliable and stable inverse direct logistics networks in conditions of uncertainty," PhD Thesis, University of Tehran, 2013. (In Persian)

[14] S. Khalili, F. Jolai, and S. A. Torabi, "In Integrated production–distribution planning two-echelon systems: a resilience view," International Journal of Production Research, vol. 55(4), 2017.

[15] S. A. Torabi, M. Baghersad, and S. Mansouri, "Resilient supplier selection and order allocation under operational and disruption risks," Transportation Research Part E, vol. 79, pp. 22-48, 2015.

[16] N. Shojaei and S. J. Sajjadi, "Presenting a stable and elastic supply chain model under conditions of risk uncertainty and disruption," Iran University of Science and Technology-Master Thesis, Tehran, 2014. (In Persian)

[17] A. Khalili Nasr, M. Tavana, B. Alavi, and H. Mina, "A novel fuzzy multi-objective circular supplier selection and order allocation model for sustainable closed-loop supply chains," Journal of Cleaner Production, vol. 287, 2021.

[18] S. M. Hosseini, N. Morshedlou, D. Ivanov, M. D. Sarder, K. Barker, and A. A. Khaled, "Resilient supplier selection and optimal order allocation under disruption risks," International Journal of Production Economics, vol. 213, pp. 124-137, 2019.

[19] E. Esmaeili-Najafabadi, N. Azad, and M. S. Fallah Nezhad, "Risk-averse supplier selection and order allocation in the centralized supply chains under disruption risks," Expert Systems with Applications, vol. 175, 2021.

[20] F. Firouzia and O. Jadidi, "Multi-objective model for supplier selection and order allocation problem with fuzzy parameters," Expert Systems with Applications, vol. 180, pp. 115-121, 2021.

[21] J. Xu and X. Zhou, "Approximation based fuzzy multi-objective models with expected objectives & chance constraints," Application to earth-rock work allocation," Inf. Sci, vol. 238, pp.75–95, 2013.

[22] S. Khalili, F. Jolai, S. A. Torabi, "In Integrated production–distribution planning two-echelon

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

systems: a resilience view," International Journal of Production Research, 2016.

[23] F. Chan, T. A. Jha, and M. K. Tiwari, "Bi-Objective Optimization of Three Echelon Supply Chain involving Truck Selection and Loading using NSGA-II with Heuristics algorithm," Applied Soft Computing, vol. 38, pp. 978-987, 2016.

[24] M. Notash, M. Zandieh, B. Dari, "Multi-objective design of supply chain network with the approach of genetic algorithm," Management Research in Iran, vol. 4(18), p. 183, 2014. (In Persian)

[25] S. Moghaddam, "Introduction to communication management system with SRM suppliers in Sash," Samen Asr Communication Company, Tehran, 2017. (In Persian)

[26] S. H. Amin and G. Zhang, "A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return," Applied Mathematical Modelling, vol. 37(6), pp. 4165-4176, 2013.

[27] E. R. Kennedy, "Particle Swarm Optimization," IEEE Transactions On, vol. 8, no. 3, pp. 1942-1948, 1995.

[28] M. Zareei and H. A. Hassanpour, "Time-Cost Balance to Maximize Contractor's Current Net Value with Fee and Resource Constraint Patterns Using Evolutionary Algorithms (Case Study: Limited Part of Bandar Abbas Gas Condensate Refinery Construction Project," Industrial Management, Faculty of Management, University of Tehran, Vol. 1(7), pp. 41-19, 2015. (In Persian)

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Iranian Journal of Supply Chain Management

2

Vol. 24, No. 75, Summer, 2022

Providing a Combined Model of Supplier Selection and Order Allocation in Random Uncertainty Conditions and Solution with the Robust Fuzzy Optimization Approach (Case Study: Isar General Commodities Company)

H. A. Hassanpour*, H. Ghaffari Turan, M. Zareei, A. Mohammadi

*Assistant Professor, Department of Industrial and Logistics Engineering, Faculty of Engineering, Imam Hossein Comprehensive University, Tehran, Iran

(Received: 28/01/2021; Accepted: 05/09/2021)

Abstract

The purpose of this research is to present a two-objective nonlinear integer programming model for optimization of a general commodities supply chain, minimizing the purchase costs and delivery delays and maximizing the resilience with uncertain constraints and parameters of the objective functions. To solve the model, the weights of relevant metrics and sub-criteria for producers are obtained through multi-criteria decision making. These metrics are used as the input data to the proposed mathematical model. Since this is classified as a hybrid optimization problem in the NP-hard problem family, NSGA-II and MOPSO multi-objective evolutionary algorithms are used to solve the proposed model. Comparing the results of the algorithm is done with the help of comparative indices. In this study, the probability constraint programming is used for the fuzzy to deterministic conversion of models. This method fits the LAM and UAM estimation models appropriately to the pessimistic-optimistic changes due to the differences in the decision makers' attitudes. Results of comparing these algorithms indicate that the genetic algorithm performs better in the optimistic view, whilst the MOPSO algorithm performs better in the pessimistic case. The results of NSGA-II and MOPSO algorithm for the designed sample problem show that NSGA-II algorithm performs better than MOPSO algorithm in different criteria. For instance, better performance regarding the solution time and the criterion of the distance from the ideal point, is observed in all problems.

Keywords: Resilient Supply Chain, Random uncertainty, Robust Fuzzy Optimization, NSGA-II, MOSPO, Comparative Indicators

*Corresponding Author E-mail: hahassan@ihu.ac.ir

Archive of SID.ir