Archive of SID

طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین ناب- چابک و ارزشی و حل آن با الگوریتم‌های فراابتکاری چندهدفه

حسینعلی حسن‌پور[۱*]، مرتضی جبله[۲]

۱. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران

۲. کارشناس ارشد مهندسی لجستیک و زنجیرهٔ تأمین، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران

(تاریخ دریافت: ۹۷/۰۱/۲۴، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده: ۹۷/۰۵/۰۶، تاریخ تصویب: ۹۷/۰۷/۰۳)

چکیده

در این پژوهش، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی سه‌هدفه (ناب- چابک و ارزش‌های محوری) به‌منظور بهینه‌سازی زنجیرهٔ تأمین اقلام عمومی ارائه شده و در آن همهٔ پارامترهای توابع هدف و محدودیت‌ها به‌صورت قطعی مدنظر قرار گرفته است. مدل ارائه‌شده سه هدف کمینه‌کردن هزینه‌های حمل‌ونقل، زمان تأخیر در تحویل و عقد و فسخ قرارداد و بیشینه‌کردن میزان چابکی و ارزش‌های محوری را شامل می‌شود. در این مدل به طراحی شبکهٔ زنجیره تأمین ناب، چابک و ارزشی پرداخته می‌شود. این شبکه شامل تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و مشتریان است که در آن شاخص‌ها و معیارهای ارزشی و چابکی برای تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان درنظر گرفته شده است. روش حل بدین گونه است که ابتدا اوزان مناسب چابکی و رعایت ارزش‌ها برای تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان به روش تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌دست می‌آید، سپس این اوزان با سایر پارامترهای مسئله، به‌عنوان ورودی مدل ریاضی پیشنهادی مدنظر قرار می‌گیرند. مدل ریاضی ارائه‌شده در قالب مطالعهٔ موردی با استفاده از نرم‌افزار GAMS حل شده و سپس دو الگوریتم فراابتکاری چندهدفه شامل الگوریتم ژنتیک و پرش قورباغه با مرتب‌سازی نامغلوب ارائه شده است. به‌منظور اعتبارسنجی نیز نتایج این الگوریتم‌ها با نتایج حل دقیق، مقایسه شده است. همچنین نتایج دو الگوریتم NSGA-II و NSMOSFLA به‌ازای معیارهای مقایسه‌ای الگوریتم‌های چندهدفه تحلیل شده است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم پرش قورباغهٔ چندهدفه، الگوریتم ژنتیک چندهدفه، زنجیرهٔ تأمین ناب- چابک و ارزشی، مدل عدد صحیح غیرخطی.

مقدمه

گستردگی و فراگیربودن موضوع تأمین اقلام عمومی، محیط ناپایدار کسب‌وکار، اطلاع‌نداشتن از روندهای تغییرات بازار، تحریم‌ها، ناتوانی در پاسخگویی به تقاضای اقلام و کم‌توجهی به ارزش‌های محوری حاکم میان عناصر زنجیرهٔ تأمین (از جمله امانت‌داری، خدمت‌گزاری، عدالت‌محوری، صداقت، توجه به مصالح عامه، مراقبت و خودکنترلی) سبب می‌شود سازمان‌ها ندانند در شرایط مذکور باید در چه مکان‌هایی، با چه عناصری از زنجیره، چه زمانی، به چه میزان و چگونه کار کنند. این سردرگمی به بروز پیامدهای بسیار زیانباری، از جمله ازبین‌رفتن موجودیت سازمان و فروپاشی زنجیرهٔ تأمین می‌انجامد. ارزش‌های محوری در این پژوهش، درس‌آموخته‌ها و رسوب دانشی همکاری چند دههٔ یک سازمان بزرگ لجستیکی ایران با تأمین‌کنندگان و توزیع‌کنندگان گوناگون است و این مفاهیم با ملاحظات اجتماعی زنجیرهٔ تأمین پایدار (مانند الزامات قانونی، سلامتی، ایمنی کار، رعایت حقوق انسانی و تبعیض نژادی) متفاوت است.

پژوهش‌های بسیاری در زمینهٔ ناب-چابک اجزای زنجیرهٔ تأمین انجام شده است (مانند پژوهش بشیری و خراسانی [۱]) که هزینه‌هایی مانند عقد و فسخ قرارداد و همچنین تأثیر مستقیم چابکی در تابع هدف را مدنظر قرار داده‌اند، اما شاخص‌هایی مانند ارزش‌های محوری (که در بالا بیان شد) می‌توانند بر فعالیت‌های افراد و سازمان‌ها تأثیر بگذارند و بیانگر نوع روابط، نحوهٔ تعاملات، میزان اعتمادپذیری و حتی باورهای عناصر زنجیره‌ای باشند که در شرایط گوناگون با هم کار می‌کنند. این ارزش‌ها علاوه‌بر شرایط عادی کسب‌وکار، در شرایط بحرانی (مانند بحران‌های سیاسی، اقتصادی و اجتماعی، تحریم‌ها و حتی

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۶۱۰۸۳۸۹

Email: hahassan@ihu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

بلایای طبیعی) اهمیت بیشتری می‌یابند و درواقع جنبه‌هایی فراتر از ملاحظات ناب- چابک، زیست‌محیطی و اجتماعی هستند و منجر به مستحکم‌شدن حلقه‌های زنجیره می‌شوند. در پژوهش‌ها گذشته، این موارد در طراحی زنجیره‌های تأمین مدنظر قرار نگرفته است.

در این نوشتار، پس از مروری بر ادبیات موضوع به تعریف مسئله پرداخته و در ادامه مدل ریاضی مسئله، مفروضات و محدودیت‌های آن بیان می‌شود. پس از اجرای مدل معرفی‌شده در شرایط واقعی در شرکت خدمات اقلام عمومی، مقایسهٔ خروجی‌های حاصل از حل آن با حالت واقعی صورت می‌گیرد. در انتها نیز نتایج حاصل از مدل و پیشنهادهایی در زمینهٔ مطالعات آتی ارائه خواهد شد.

مروری بر ادبیات موضوع

هم‌راستایی مدیریت زنجیرهٔ تأمین و زنجیره‌های ناب- چابک و ارزشی از موضوعات بسیار جالب در حیطهٔ مسائل زنجیرهٔ تأمین است. عمرانی و ادبی موضوع کارایی تسهیلات را از طریق مدل تحلیل پوششی داده‌ها به طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین اضافه و مدل چندهدفه را برای طراحی شبکهٔ زنجیره تأمین کارا ارائه کردند. همچنین نتایج حاصل از روش وزن‌دهی توابع هدف و محدودیت اپسیلون را با یکدیگر بررسی کردند. مدل پیشنهادی مناسب‌ترین مکان را برای کارخانه‌ها و توزیع‌کنندگان انتخاب می‌کند و از این طریق، هم‌زمان هزینهٔ کل زنجیرهٔ تأمین را کاهش می‌دهد [۲]. نصیری و پورمحمدضیا، مدلی تلفیقی شامل تصمیم‌گیری چندمعیاره و برنامه‌ریزی ریاضی را برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش در زنجیرهٔ تأمین ارائه کردند. ساختار ارائه‌شده متشکل از دو زیرمدل کیفی و کمی است. زیرمدل کیفی، با بهره‌گیری از فن اولویت‌بندی براساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل (تاپسیس) به ارزیابی کیفی تأمین‌کنندگان می‌پردازد. سپس در زیرمدل کمی، حجم سفارش‌دهی به تأمین‌کنندگان براساس اولویت‌های معین‌شده در مرحلهٔ کیفی با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه مشخص می‌شود [۳]. امین و ژانگ در سال ۲۰۱۳، شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین حلقهٔ بسته را که شامل مراکز تولید، مراکز جمع‌آوری و بازار تقاضا (به‌صورت چند محصولی) است تحت شرایط عدم قطعیت توسعه دادند. برای این هدف، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط را پیشنهاد کردند که هزینه‌های کل را حداقل می‌کند. علاوه‌بر این تابعی زیست‌محیطی با در نظر گرفتن عوامل محیطی به‌صورت وزنی به مسئله اضافه شده است. برای حل مدل، مسئلهٔ دوهدفه به‌کمک روش e-Constraint به مسئله‌ای تک‌هدفه با محدودیت اضافی تبدیل شده است. با استفاده از این روش مجموعه‌ای از جواب‌های بهینهٔ پارتو به‌دست آمده است [۴]. چاوز و همکاران در سال ۲۰۱۵، تأثیر روابط داخلی اعضای زنجیره و رضایت کارکنان را در یکپارچه‌سازی زنجیرهٔ تأمین بررسی کردند و نتیجه گرفتند که ارتباطات داخلی اثر مثبت و قابل‌توجهی بر رضایت کارکنان دارد و سبب یکپارچه‌سازی زنجیره می‌شود [۵]. رزمی و همکاران در سال ۱۳۹۲، شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین چابک چنددوره‌ای را در حالت عدم قطعیت تقاضا مدل‌سازی کردند. در مدل آن‌ها برای چابک‌کردن زنجیرهٔ تأمین از خصوصیات کلیدی زنجیرهٔ تأمین چابک مانند اضافه‌کاری، برون‌سپاری، تخفیف، افزایش ظرفیت دائم، روش‌های گوناگون حمل‌ونقل میان لایه‌های مختلف زنجیرهٔ تأمین، انبارش در مرکز توزیع در صورت لزوم، ارسال مستقیم از کارخانه به مشتریان و انتخاب چابک‌ترین تسهیلات در هر رده از شبکهٔ زنجیره تأمین استفاده شده است. رده‌های انتخاب‌شده در شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین شامل تأمین‌کننده‌ها، تولیدکننده‌ها، مراکز توزیع و مشتریان است. تسهیلات زنجیرهٔ تأمین، این قابلیت را دارند که از هر دوره‌ای به بعد انتخاب شوند. مسئله به‌وسیلهٔ برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته در شرایط قطعیت تقاضا مدل‌سازی شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد این مدل قادر است با کمترین هزینه، بیشترین سطح خدمت به مشتری را ارائه دهد [۶]. رمضانی و همکاران در سال ۲۰۱۳، مدل احتمالی چندهدفه را برای مسئلهٔ طراحی شبکهٔ لجستیک یکپارچه، تحت شرایط عدم قطعیت ارائه کردند. سطوح تصمیم‌گیری در لجستیک مستقیم شامل تأمین‌کنندگان، مراکز تولید و توزیع و در شبکهٔ لجستیک معکوس شامل مراکز جمع‌آوری و مراکز دفع است. سه تابع هدف استفاده‌شده در مدل به‌صورت بیشینه‌کردن سود، پاسخگویی به مشتری و کاهش قطعات معیوب از تأمین‌کننده (بیشینه‌کردن کیفیت قطعات) در نظر گرفته و درنهایت مجموعه‌ای از راه‌حل‌های بهینهٔ پارتو به روش e-Constraint تولید شد [۷].

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. دسته‌بندی پیشینهٔ پژوهش و مدل‌های مرتبط با ارزیابی ناب، چابکی و ارزشی زنجیرهٔ تأمین

نویسندگان	عنوان کار پژوهشی	ملاحظات زنجیره						تمرکز پژوهش			طراحی شبکه				روش حل	سال
		ناب	چابکی	زیست‌محیطی	اجتماعی	ارزشی	چارچوب	ارائهٔ معیار	مدل ریاضی	تعداد سطوح	محصول: تک‌محصولی	محصول: چندمحصولی	دوره: تک دوره‌ای	دوره: چند دوره‌ای	هدف: تک‌هدفه	هدف: چندهدفه		
تیزرو [۱۳]	طراحی مدل زنجیرهٔ تأمین چابک		*				*	*				*		*	*		لیزرل-SPSS	۱۳۸۹
مرزوقی [۱۴]	اعتباریابی الگوی رهبری معنوی سازمانی					*	*	*							*		SPSS	۱۳۹۴
امالیا [۱۵]	تأثیر ارزش‌های مذهبی بر رضایت شغلی					*		*					*				SPSS	۲۰۱۵
اماموردی [۱۶]	ارائهٔ مدل ارزیابی ناب و چابکی زنجیرهٔ تأمین	*	*				*	*		۳		*		*			ANP -SPSS	۱۳۹۳
نوتاش [۱۷]	طراحی چندهدفهٔ شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین	*	*						*	۴		*		*	*		GA -SPSS	۱۳۹۳
لاساشانکار [۱۸]	مکان‌یابی و تخصیص زنجیرهٔ تأمین چندلایه‌ای	*	*						*	۴	*		*		*		PSO	۲۰۱۳
نیاکی و همکاران [۱۹]	تولید، توزیع و تدارک یکپارچهٔ دوهدفه در طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین چندسطحی	*	*						*	۴	*			*	*		NSGA-II، MOSA	۲۰۱۵
بشیری و خراسانی [۱]	طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین چندهدفه با درنظرگرفتن چابکی اجزای زنجیره	*	*					*	*	۴	*			*	*		-GAMS TOPSIS	۱۳۹۴
ژانگ و همکاران [۲۰]	طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین پایدار با کانال‌های توزیع چندگانه	*		*					*	۴	*		*		*		Bees-GA	۲۰۱۶
چابن [۲۱]	طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین پایدار	*		*					*	۵		*		*	*		Lingo	۲۰۱۲
دهقانیان و منصور [۲۲]	طراحی شبکهٔ بازیابی پایدار چرخهٔ عمر محصولات با رویکرد الگوریتم ژنتیک	*		*	*		*	*	*	۲		*	*		*		AHP-NSGA-II	۲۰۰۹
فلاح‌نژاد و همکاران [۲۳]	مدل بهینه‌سازی چندهدفهٔ استوار در طراحی زنجیرهٔ تأمین حلقهٔ بستهٔ پایدار	*		*	*				*	۱۰		*	*		*		GAMS	۱۳۹۳
وارسی [۸]	طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین پایدار	*		*	*			*	*	۵		*	*		*		- e-Constraint AHP	۲۰۱۶
چودری و همکاران [۹]	طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین پایدار زراعی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندهدفهٔ ترکیبی دومرحله‌ای	*		*	*			*	*	۴		*		*	*		– e-Constraint OWA-AHP	۲۰۱۸
حاجی‌آقایی و همکاران [۱۰]	طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین پایدار حلقهٔ بسته با فرض تخفیف	*		*	*				*	۹	*			*	*		-GAMS KAGA	۲۰۱۸
صمدی و همکاران [۱۱]	طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین پایدار و حل آن با الگوریتم‌های فراابتکاری	*		*	*				*	۹		*		*	*		RDA-GA	۲۰۱۸
صاحب‌جم نیا و همکاران [۱۲]	طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین حلقهٔ بستهٔ پایدار و حل آن با الگوریتم‌های فراابتکاری ترکیبی	*		*	*				*	۶		*		*	*		-RDA and SA WWO and WWO -GA RDA -and TS and WWO	۲۰۱۸
پژوهش حاضر	طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین چندهدفه و چندسطحی مبتنی بر چابکی و ارزش‌های سازمانی و حل آن با روشی کارا	*	*			*	*	*	*	۳		*		*	*		-AHP -SPSS – GAMS و NSGA-II NSMOSFLA	۱۳۹۶

www.SID.ir

Archive of SID

در سال‌های اخیر، بسیاری از پژوهشگران از جمله وارسی [۸]، چودری و همکاران [۹]، حاجی‌آقایی و فتح‌اللهی‌فرد [۱۰]، صمدی و همکاران [۱۱] و صاحب‌جم‌نیا و همکاران [۱۲] در حوزهٔ طراحی چندهدفه، چندمحصولی و چنددوره‌ای شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین پایدار و حل آن با روش‌های فراابتکاری، مدل‌سازی ریاضی انجام دادند و به معیارهای ناب، چابک، زیست‌محیطی و اجتماعی زنجیرهٔ تأمین توجه کردند، اما در هیچ‌یک از مطالعات به مقولهٔ ارزش‌ها در زنجیرهٔ تأمین و بررسی آن در کنار سایر رویکردهای زنجیرهٔ تأمین پرداخته نشده است. در نگاهی کلی، این سه رویکرد نقاط اشتراک زیادی با یکدیگر دارند.

مدل استفاده‌شده در این پژوهش، برگرفته از مدل بشیری و خراسانی و توسعه‌یافتهٔ آن است [۱]. در مدل آن‌ها، امکان انتخاب تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان براساس معیارهای چابکی و تأثیر مستقیم آن‌ها در تابع هدف (با نگاه به هزینه‌های عقد و فسخ قرارداد) در شبکه‌ای چهارسطحی بررسی شده است. در پژوهش حاضر، با نگاه به مطالعهٔ موردی، شبکهٔ سه‌سطحی بررسی شده است. همچنین چابکی تولیدکننده و چابکی توزیع‌کننده نیز درنظر گرفته شده که در مطالعهٔ بشیری و خراسانی به آن توجهی نشده است. همچنین با توجه به ارزش‌های محوری در دو سطح تولیدکننده و توزیع‌کننده به‌عنوان قابلیت زنجیره، مدل دوهدفهٔ پژوهش بشیری و خراسانی به مدل سه‌هدفه، شامل چابکی، ارزش‌های محوری و هزینه‌ها توسعه داده شده است. براین‌اساس، در مدل بشیری و خراسانی تغییراتی ایجاد شده است که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

در جدول ۱، برخی پژوهش‌ها در زمینهٔ موضوع مورد نظر آمده است. باید توجه داشت که در پژوهش‌های پیشین، هیچ‌یک از پژوهشگران به تمام جنبه‌های مسئله از جمله هزینه، چابکی و ارزشی نپرداخته‌اند. در پژوهش حاضر، ضمن تبیین معیارهای اصلی رویکرد ناب، چابک و ارزشی، به‌دنبال ارائهٔ مدل ریاضی برای ارزیابی این رویکردها هستیم.

تعریف مسئله

در شرکت‌های خدمات اقلام عمومی (سازمان لجستیکی دولتی) که با زیرمجموعه‌ها و رده‌های بسیاری سروکار دارند، مفهوم زنجیرهٔ تأمین و مسائل مرتبط با آن، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و هر روز که از عمر آن‌ها می‌گذرد اهمیت مباحث مربوط به زنجیره تامین در پیکرهٔ آن‌ها به‌خوبی احساس می‌شود؛ از این‌رو ساختار زنجیرهٔ اقلام عمومی باید متناسب با مشخصات محیطی، به‌ویژه نیاز سطوح پایین‌تر هماهنگ باشد. اکنون با توجه به مسائل مختلف در حوزهٔ زنجیرهٔ تأمین، آنچه امروز در سازمان‌ها مدنظر قرار می‌گیرد، پرداختن به راهبردهای ارزشی همراه با چابکی در زنجیره‌ها برای ارج‌نهادن به روابط و رضایت مشتری نهایی است.

در این پژوهش، با معرفی معیارهای ارزشی (امانت‌داری، خدمت‌گزاری، عدالت‌محوری، صداقت، توجه به مصالح عامه، مراقبت و خودکنترلی)، به‌دنبال ارائهٔ مدلی برای طراحی زنجیرهٔ تأمین با ملاحظهٔ هر سه معیارهای ناب، چابک و ارزشی هستیم.

در مطالعهٔ حاضر، با ملاحظه ورود سه قلم کالای عمومی (یخچال، اجاق گاز و کباب‌پز) به زنجیره تامین در یک دوره، تأثیراتی که این چند محصول مشابه می‌تواند بر عقد و فسخ قراردادها و سایر هزینه‌های مدنظر شرکت خدمات اقلام عمومی (سازمان لجستیکی دولتی و پشتیبانی) داشته باشند، بررسی و مشخص می‌شود با داشتن زنجیرهٔ تأمین چابک و ارزشی، توانایی برای پاسخگویی به نیاز رده‌ها بیشتر خواهد شد. همچنین مدل پیشنهادی نشان می‌دهد در چه دوره‌هایی باید عقد و فسخ قرارداد وجود داشته باشد.

فرضیه‌های مدل

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

۲. همهٔ مراکز مشتریان متقاضی دریافت محصول، به عقد و فسخ قرارداد نیاز ندارند؛

۳. تولیدکنندگان براساس فهرست اقلام موردنیاز رده‌ها، محصول را تولید می‌کنند و در اختیار مراکز پخش قرار می‌دهند؛

۴. زنجیرهٔ تأمین موردنظر سه‌سطحی است. در سطح اول تولیدکنندگان (شرکت‌های بیرونی دولتی و خصوصی که طرف قرارداد سازمان لجستیکی دولتی هستند) قرار دارند. سطح دوم توزیع‌کنندگان (شامل شرکت‌های سازمان خرید، ایثار و...) هستند و سطح سوم مشتریان (رده‌های مصرف‌کننده، کارکنان رسمی و قراردادی) قرار دارند.

www.SID.ir

Archive of SID

۵. تقاضا قطعی است (سفارش از رده‌های متقاضی صادر می‌شود)

۶. مدل چندمحصولی، چنددوره‌ای با پارامترهای قطعی است. ۷. تمام نیاز رده‌ها (مشتریان) باید تأمین شود.

۸. هیچ الزامی وجود ندارد که ظرفیت موردنیاز مراکز توزیع را تنها یک تولیدکننده تأمین کند.

۹. تقاضای مشتری می‌تواند از چند توزیع‌کننده برآورده شود.

۱۰. هیچ الزامی وجود ندارد که تمام نیاز رده‌ها از یک تولیدکننده برآورده شود.

تابع هدف و علائم

برای این مطالعه سه تابع هدف در نظر گرفته شده است. تابع هدف اول (F_1) کمینه‌کردن هزینه‌های حمل‌ونقل، عقد و فسخ قرارداد و هزینه‌های تأخیر در تحویل محصولات است. تابع هدف دوم (F_2) بیشینه‌کردن میزان چابکی را نشان می‌دهد. در تابع هدف سوم (F_3) بیشینه‌کردن میزان پایبندی به ارزش‌های محوری خواهد آمد.

مجموعه‌ها و شمارنده‌ها

$i \in N$	تعداد تولیدکنندگان	$j \in B$	تعداد توزیع‌کنندگان
$k \in M$	تعداد مشتریان	$h \in L$	تعداد محصولات نهایی
$t \in P$	تعداد دوره‌ها		

پارامترهای مدل

G_i: حداقل تعداد محصول ارسالی از تولیدکننده به مراکز توزیع

G_j: حداقل تعداد محصول ارسالی از هر توزیع کننده به مشتریان

M: یک عدد دلخواه بزرگ

Q: هزینهٔ ثابت به ازای هر روز تأخیر در تحویل محصول نهایی

K_{iht}: ظرفیت تولید محصول h توسط تولیدکنندهٔ i در دورهٔ t

K_{jht}: ظرفیت انبار j برای نگهداری محصول h در دورهٔ t

D_{kht}: میزان تقاضای مشتری k از محصول نهایی h در دورهٔ t

T_{ijht}: تعداد روزهای متحمل تأخیر در تحویل محصول نهایی h توسط تولیدکنندهٔ i و تحویل آن به توزیع‌کنندهٔ j در دورهٔ t

T_{jkht}: تعداد روزهای متحمل تأخیر در تحویل محصول نهایی h توسط توزیع‌کنندهٔ j و تحویل آن به مشتری k در دورهٔ t

C_{ijht}: هزینهٔ حمل محصول نهایی h از تولیدکنندهٔ i به توزیع‌کنندهٔ j در دورهٔ t

C_{jkht}: هزینهٔ حمل و تحویل محصول نهایی h از توزیع‌کنندهٔ j به مشتری k در دورهٔ t

F_{it}: هزینهٔ ثابت عقد قرارداد با تولیدکنندهٔ i در دورهٔ t

F'_{it}: هزینهٔ ثابت فسخ قرارداد با تولیدکنندهٔ i در دورهٔ t

F_{jt}: هزینهٔ ثابت عقد قرارداد با توزیع‌کنندهٔ j در دورهٔ t

F'_{jt}: هزینهٔ ثابت فسخ قرارداد با توزیع‌کنندهٔ j در دورهٔ t

A_{iht}: میزان چابکی در تولید محصول نهایی h توسط تولیدکنندهٔ i در دورهٔ t

A_{jht}: میزان چابکی در توزیع محصول نهایی h توسط توزیع‌کنندهٔ j در دورهٔ t

V_{iht}: میزان پایبندی به ارزش ها در تولید محصول نهایی h توسط تولیدکنندهٔ i در دورهٔ t

V_{jht}: میزان پایبندی به ارزش‌ها در توزیع محصول نهایی h- ام توسط توزیع‌کنندهٔ j- ام در دورهٔ t

متغیرهای تصمیم

X_{ijht}: تعداد محصول نهایی h فرستاده‌شده از تولیدکنندهٔ i به توزیع‌کنندهٔ j در دورهٔ t

X_{jkht}: تعداد محصول نهایی h فرستاده‌شده از توزیع‌کنندهٔ j به مشتری k در دورهٔ t

Y_{it}: اگر مجموع محصول نهایی h فرستاده‌شده از تولیدکننده i به انبارها از G_i کمتر باشد، یک، در غیر این صورت صفر است.

Y_{jt}: اگر مجموع محصول نهایی h فرستاده‌شده از توزیع‌کننده j به مشتریان از G_j کمتر باشد، یک و در غیر این صورت صفر است.

W_{it}: اگر در دورهٔ t با تولیدکنندهٔ i عقد قرارداد داشته باشیم، یک، در غیر این صورت صفر است.

www.SID.ir

Archive of SID

W'_{it}: اگر در دورهٔ t با تولیدکنندهٔ i فسخ قرارداد داشته باشیم، یک، در غیر این صورت صفر است

W_{jt}: اگر در دورهٔ t با توزیع‌کنندهٔ j عقد قرارداد داشته باشیم، یک، در غیر این صورت صفر است

W'_{jt}: اگر در دورهٔ t با توزیع‌کنندهٔ j فسخ قرارداد داشته باشیم، یک و در غیر این صورت صفر است

مدل ریاضی مسئله

$$F_1 = Min\begin{pmatrix} Cost(1)+Cost(2)+Cost(3) \\ +Cost(4)+Cost(5)+Cost(6) \\ +Cost(7)+Cost(8) \end{pmatrix} \quad (۱)$$

$$Cost(1)=\sum_{i=1}^{N}\sum_{t=1}^{P}F_{it}*W_{it}*\left(1-W_{i,t-1}\right) \quad (۲)$$

$$Cost(2)=\sum_{i=1}^{N}\sum_{t=1}^{P}F'_{it}*W'_{it}*W_{i,t-1} \quad (۳)$$

$$Cost(3)=\sum_{j=1}^{B}\sum_{t=1}^{P}F_{jt}*W_{jt}*\left(1-W_{j,t-1}\right) \quad (۴)$$

$$Cost(4)=\sum_{j=1}^{B}\sum_{t=1}^{P}F'_{jt}*W'_{jt}*W_{j,t-1} \quad (۵)$$

$$Cost(5)=\sum_{h=1}^{L}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{B}\sum_{t=1}^{P}C_{ijht}*X_{ijht} \quad (۶)$$

$$Cost(6)=\sum_{h=1}^{L}\sum_{j=1}^{B}\sum_{k=1}^{M}\sum_{t=1}^{P}C_{jkht}*X_{jkht} \quad (۷)$$

$$Cost(7)=\sum_{h=1}^{L}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{B}\sum_{t=1}^{P}T_{ijht}*X_{ijht}*Q \quad (۸)$$

$$Cost(8)=\sum_{h=1}^{L}\sum_{j=1}^{B}\sum_{k=1}^{M}\sum_{t=1}^{P}T_{jkht}*X_{jkht}*Q \quad (۹)$$

$$F_2 = Max\left(Agility(1)+Agility(2)\right) \quad (۱۰)$$

$$Agility(1)=\sum_{i=1}^{N}A_{iht}*X_{ijht} \quad (۱۱)$$

$$Agility(2)=\sum_{j=1}^{B}A_{jht}*X_{jkht} \quad (۱۲)$$

$$F_3 = Max\left(Value(1)+Value(2)\right) \quad (۱۳)$$

$$Value(1)=\sum_{i=1}^{N}V_{iht}*X_{ijht} \quad (۱۴)$$

$$Value(2)=\sum_{j=1}^{B}V_{jht}*X_{jkht} \quad (۱۵)$$

محدودیت‌های مدل به شرح زیر است:

$$\sum_{j=1}^{B}X_{hijt}\le k_{iht}*w_{it} \quad (۱۶)$$

$$\sum_{k=1}^{M}X_{hjkt}\le k_{jht}*w_{jt} \quad (۱۷)$$

$$\sum_{j=1}^{B}X_{hjkt}\ge D_{kht} \quad (۱۸)$$

$$\sum_{i=1}^{N}X_{ijht}-\sum_{k=1}^{M}X_{jkht}\ge 0 \quad (۱۹)$$

$$W'_{it}\le W_{i,t-1} \quad (۲۰)$$

$$W'_{jt}\le W_{j,t-1} \quad (۲۱)$$

$$W_{it}\ge\left(W_{i,t-1}\right)*\left(1-W'_{it}\right) \quad (۲۲)$$

$$W_{jt}\ge\left(W_{j,t-1}\right)*\left(1-W'_{jt}\right) \quad (۲۳)$$

$$\sum_{j=1}^{B}X_{ijht}\le G_i+M*\left(1-Y_{it}\right) \quad (۲۴)$$

$$\sum_{j=1}^{B}X_{ijht}\ge G_i-M*\left(Y_{it}\right) \quad (۲۵)$$

$$\left(1-W_{it}\right)*\left(1-W'_{it}\right)+W'_{it}=Y_{it} \quad (۲۶)$$

$$\sum_{k=1}^{M}X_{jkht}\le G_j+M*\left(1-Y_{jt}\right) \quad (۲۷)$$

$$\sum_{k=1}^{M}X_{jkht}\ge G_j-M*\left(Y_{jt}\right) \quad (۲۸)$$

$$\left(1-W_{jt}\right)*\left(1-W'_{jt}\right)+W'_{jt}=Y_{jt} \quad (۲۹)$$

$$W_{it}+W'_{it}\le 1 \quad (۳۰)$$

$$W_{jt}+W'_{jt}\le 1 \quad (۳۱)$$

$$X_{ijht}\ge 0, X_{jkht}\ge 0 \quad (۳۲)$$

$$W_{it},W'_{it},W_{jt},W'_{jt},Y_{it},Y_{jt}\varepsilon\{0,1\} \quad (۳۳)$$

$$i=1,\ldots,N, h=1,\ldots,L, j=1,\ldots,B, t=1,\ldots,P, k=1,\ldots,M$$

تشریح توابع هدف و محدودیت‌های مدل

رابطه ۱ مجموع هزینه‌های حمل‌ونقل، عقد و فسخ قرارداد و هزینهٔ تأخیر در تحویل برای تولیدکننده و توزیع‌کننده را بیان می‌کند. روابط ۲ تا ۹ نحوه محاسبهٔ هر یک از هزینه‌های حمل‌ونقل، عقد و فسخ قرارداد و هزینهٔ تأخیر در تحویل را بیان می‌کند. رابطهٔ ۲ هزینهٔ ثابت عقد قرارداد با تولیدکننده و رابطهٔ ۳ هزینهٔ ثابت فسخ قرارداد با آن‌ها را نشان می‌دهد. همچنین روابط ۴ و ۵ به‌ترتیب هزینهٔ ثابت عقد و فسخ قرارداد با توزیع‌کنندگان را نشان می‌دهند. رابطهٔ ۶ بیانگر هزینهٔ حمل‌ونقل محصولات از سوی تولیدکنندگان فعال به انبار توزیع‌کنندگان است. درنهایت در رابطهٔ ۷ هزینهٔ حمل و تحویل محصولات نهایی از توزیع‌کنندگان به مشتریان آمده است. روابط ۸ و

www.SID.ir

Archive of SID

۹ نیز به جریمهٔ تأخیر در تحویل مواد اولیه و محصولات نهایی به ازای هر روز مربوط است. رابطهٔ ۸ هزینهٔ جریمهٔ تولیدکنندگان به‌دلیل تأخیر در تحویل مواد اولیه و رابطهٔ ۹ هزینهٔ جریمهٔ توزیع‌کنندگان را به‌دلیل تأخیر در تحویل محصولات نهایی نشان می‌دهند.

رابطهٔ ۱۰ تابع هدف دوم، یعنی میزان چابکی را نشان می‌دهد که شامل رابطهٔ ۱۱ و ۱۲ است. رابطهٔ ۱۱ میزان چابکی تولیدکنندگان فعال برای تولید محصول نهایی و رابطهٔ ۱۲ میزان چابکی توزیع‌کنندگان فعال را برای تولید محصولات نهایی نشان می‌دهند که هدف بیشینه‌کردن مجموع آن‌هاست.

برای مثال، براساس رابطهٔ ۱۱ و اوزان شکل ۳، پارامتر A_{iht} یا میزان چابکی تولیدکنندهٔ i (مثلاً شرکت فیلور) در تولید محصول h (مثلاً یخچال خانگی) در دورهٔ t ۰/۴۰۶ است که این وزن در متغیر تصمیم X_{ijht} (مقدار تولیدشدهٔ محصول h در دورهٔ t از سوی تولیدکنندهٔ i برای توزیع‌کنندهٔ j) ضرب می‌شود. رابطهٔ ۱۲ نیز شرایط مشابهی را برای توزیع‌کننده در برابر مشتری دارد.

رابطهٔ ۱۳ از دو رابطهٔ ۱۴ و ۱۵ تشکیل شده است. این معادلات به‌ترتیب میزان رعایت ارزش‌ها را در تولید و توزیع محصولات نهایی از سوی تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان نشان می‌دهد؛ مانند هدف قبلی به دنبال بیشینه‌سازی مجموع آن‌ها هستیم.

محدودیت ۱۶ بیان می‌کند که در صورت داشتن قرارداد با تولیدکننده‌ای در یک دوره، باید تعداد کل محصول نهایی ارسال‌شده از تولیدکننده به توزیع‌کننده، کوچک‌تر مساوی ظرفیت آن تولیدکننده باشد. محدودیت ۱۷ نیز بیان می‌کند در صورت داشتن قرارداد با توزیع‌کننده در یک دوره باید تعداد کل محصولات نهایی ارسال‌شده از توزیع‌کننده به مشتری، کوچک‌تر مساوی ظرفیت آن توزیع‌کننده باشد. محدودیت ۱۸ نشان می‌دهد باید همهٔ تقاضاها برآورده شود. در محدودیت ۱۹، تعداد محصولات نهایی فرستاده‌شده از تمام تولیدکنندگان باید بزرگ‌تر مساوی با تقاضای تمام انبارهای توزیع‌کننده باشد. محدودیت‌های ۲۰ و ۲۱، فسخ قرارداد با تولیدکننده یا توزیع‌کننده را مبنی بر عقد قرارداد با آن‌ها در دوره، یا دوره‌های قبل می‌داند. روابط ۲۲ و ۲۳ بیان می‌کنند که عقد قرارداد با تولیدکننده یا توزیع‌کننده در دوره‌ای وابسته به دورهٔ قبل آن‌هاست؛ به‌گونه‌ای که در یک دوره در صورتی با آن‌ها عقد قرارداد داریم که یا در دورهٔ قبل با آن‌ها عقد قرارداد نداشته باشیم یا در دورهٔ قبل با آن‌ها فسخ قرارداد داشته باشیم. محدودیت‌های ۲۴ تا ۲۹ بیان می‌کند که اگر تعداد محصولات ارسالی از یک تولیدکننده/ توزیع‌کننده در دوره‌ای کمتر از مقدار مشخصی باشد، ضروری است در آن دوره با آن تولیدکننده/ توزیع‌کننده فسخ قرارداد داشته باشیم. در روابط ۳۰ و ۳۱ بیان می‌شود که نمی‌توان در یک دوره با یک تولیدکننده/ توزیع‌کننده، هم عقد و هم فسخ قرارداد داشته باشیم. درواقع برای تولیدکننده/ توزیع‌کننده در ابتدای دوره یا عقد قرارداد داریم یا فسخ قرارداد. محدودیت ۳۲ نشان می‌دهد متغیرهای تصمیم مربوط به تعداد محصول لزوماً غیرمنفی‌اند. در رابطهٔ ۳۳ نیز متغیرهای صفر و یک مدل تعیین می‌شود.

روش حل پیشنهادی

در مطالعهٔ موردی، برای تولید یک محصول، چندین تولیدکننده وجود دارد و سازمان لجستیکی در دوره‌های مختلف ممکن است عقد و فسخ‌های گوناگونی با تولیدکنندگان داشته باشد. بسیاری از رده‌های متقاضی، تعداد دوره‌های تأمین متعدد دارند، تعداد بسیار تولیدکنندگان و حتی تنوع توزیع‌کنندگان نیز بر پیچیدگی مسئلهٔ مورد مطالعه در این پژوهش می‌افزاید؛ چیزی که مسئله را از نظر محاسباتی سخت می‌کند و نمی‌توان با روش‌های دقیق در زمان معقول به جواب رسید.

مسائل طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین که پژوهش موردنظر نمونه‌ای از آن است، به‌دلیل پیچیدگی‌های محاسباتی در گروه خانوادهٔ مسائل NP-hard قرار دارد. حل آن‌ها در ابعاد بزرگ، به‌کمک برنامه‌ریزی خطی و نرم‌افزارهای موجود امکان‌پذیر نیست یا به مدت‌زمان بیشتری نیاز است. توانایی حل مسائل NP-Hard در مدت‌زمان بسیار کم در مقایسه با روش‌های دقیق، کیفیت جواب بسیار بالا و نزدیک به بهینه و درنهایت فرار از بهینهٔ محلی از دلایل اصلی استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری برای مسئلهٔ موردنظر این پژوهش است.

الگوریتم ژنتیک چندهدفه

در این الگوریتم، توانایی جست‌وجوی فضاهای گوناگون پاسخ به‌همراه بهینگی هم‌زمان توابع هدف وجود دارد. در این

www.SID.ir

Archive of SID

الگوریتم، الگوریتم نسل[۲] واژه اختصاص‌یافته به جمعیت هر تکرار است. برخی پاسخ‌های نسل فعلی (جمعیت والد[۳]) برای تولید جمعیت بعدی انتخاب می‌شود. کروموزوم‌های جمعیت والد با استفاده از سه عملگر تقاطع[۴]، جهش[۵] یا حضور مجدد[۶]، فرزندان خود را برای حضور در نسل بعدی تولید می‌کنند. عملگر جهش به‌طور معمول برای حفظ سطح پذیرفته‌ای از تنوع‌سازی[۷] در جمعیت استفاده می‌شود. در این میان، فرزندانی برای نسل بعدی انتخاب می‌شوند که برازندگی بهتری از والدین خود دارند. این امر موجب تکامل نسل بعدی می‌شود. باید توجه داشت که با افزایش تعداد تکرار الگوریتم، مجموعه‌ای از بهترین جواب‌ها به‌دست می‌آید.

معرفی کروموزوم

در پژوهش حاضر، هر کروموزوم (پاسخ) شامل دو بخش مربوط به فرایند روبه‌جلو در شبکه است. بخش اول شامل $nPC + nDC$ ژن، نشان‌دهندهٔ جریان میان مراکز تولید و توزیع است. بخش دوم کروموزوم با تعداد $nDC + nC$ ژن تعیین‌کنندهٔ میزان جریان میان مراکز توزیع و مشتریان سیستم است (شکل ۱).

$nPC + nDC$	$nDC + nC$
مرحله اول	مرحله دوم

شکل ۱. نمایش کروموزوم

تولید پاسخ اولیه

نحوهٔ نمایش و میزان کالاهای تحویل داده‌شده به هر نقطهٔ تقاضا به‌صورت نمایش ماتریسی است که از حاصل‌ضرب ماتریس تقاضا برای هر کالا در ماتریس درصد تأمین تقاضای نقاط برای کالاهای مختلف به‌دست می‌آید.

از آنجا که شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین مدنظر دولایه‌ای است، دو ماتریس از اعداد تصادفی بین صفر و یک به ابعاد $J\times K\times L\times P$ و $I\times J\times L\times P$ که I، J، K، L و P به‌ترتیب تعداد تولیدکننده، تعداد توزیع‌کننده، تعداد مشتریان، تعداد محصول و تعداد دوره‌ها تولید می‌شود. سپس با ضرب‌کردن ظرفیت هریک از مقاصد در سهم مربوط به خود از هر منبع در هر مرحله، پاسخ اولیه برای مسئله تولید می‌شود.

نحوهٔ نمایش میزان کالاهای اختصاص‌یافته به هر نقطهٔ توزیع، از مینیمم ظرفیت آن توزیع‌کننده برای کالاهای مختلف در تمام دوره‌ها و حاصل‌ضرب مجموع تمام کالاهایی که از هر توزیع‌کننده به مشتریان فرستاده می‌شود، به‌دست می‌آید.

تولید پاسخ اولیه در الگوریتم حاضر برای متغیرهای باینری دو قسمت دارد. در قسمت اول، ابتدا ماتریس صفر ایجاد شده و در تکرارهای بعدی این ماتریس با اعداد «صفر و یک» مقدار می‌گیرد و در قسمت دوم، با اعمال محدودیت‌های مسئله، شدنی‌بودن پاسخ بررسی می‌شود؛ درصورتی‌که پاسخ ایجادشده در هریک از محدودیت‌ها صدق نکند، تغییرات مورد نیاز روی آن‌ها صورت می‌گیرد تا به پاسخی شدنی تبدیل شوند. پس از اطمینان از شدنی‌بودن پاسخ، مقادیر توابع هدف برای جواب اولیه به‌دست می‌آید.

عملگرهای ژنتیک

تقاطع

با توجه به اینکه کروموزوم‌های ارائه‌شده از نوع پیوسته هستند، از عملگر تقاطع محاسباتی[۸] که نوعی خاص از تقاطع برای فضای پیوسته است استفاده می‌شود. این تقاطع، تقلیدی از تقاطع یکنواخت[۹] در فضای گسسته است. این عملگر برای دو والد X_1 و X_2 یک جفت فرزند کاندید به‌صورت رابطهٔ ۳۴ تعیین می‌شود [۲۴].

$$Y_1 = a * X_1 + (1-a) * X_2$$
$$Y_2 = a * X_2 + (1-a) * X_1 \qquad (۳۴)$$
$$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \ldots, \alpha_n), \alpha \le 1$$

جهش

برای کروموزوم‌های پیوستهٔ ارائه‌شده در این پژوهش از جهش غیریکنواخت[۱۰] استفاده شده است. این جهش معمولاً تغییر کوچکی در مقادیر ژن ایجاد می‌کند. در این جهش مقداری کوچک به مقدار فعلی ژن اضافه می‌شود. این مقدار اضافه‌شده به‌طور تصادفی از یک توزیع گوسی (نرمال)[۱۱] با میانگین صفر و انحراف معیار از پیش تعیین‌شده به‌دست می‌آید. برای والدی همانند x و فرزند جهش‌یافته y رابطهٔ ۳۵ را داریم [۲۴].

$$\Delta x \sim N(0, \delta^2)$$
$$y = x + \Delta x \sim N(0, \delta^2) \qquad (۳۵)$$
$$y = x + \delta N(0,1)$$

www.SID.ir

Archive of SID

الگوریتم پرش قورباغهٔ چندهدفه

در الگوریتم پرش قورباغهٔ چندهدفه، مزایای الگوریتم ممتیک مبتنی بر ژنتیک[۱۲] و الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات مبتنی بر رفتار جمعی[۱۳] با مشخصه‌هایی از قبیل مفهوم ساده، تنظیم پارامترهای کمتر، شکل‌گیری سریع، قابلیت بالا در جست‌وجوی سراسری و اجرای آسان برای بهینه‌سازی هم‌زمان چند هدف ترکیب می‌شود تا میان پیمایش عرضی فضای پاسخ بزرگ و جست‌وجوی عمقی مکان‌های محتمل وجود بهینهٔ سراسری توازن برقرار شود؛ برای این منظور به فرایندی اجتماعی- روان‌شناختی نیاز است تا عقیده‌هایی را که در گذشته برای اعضای موفق نشان داده شده‌اند، منعکس کند؛ یعنی افراد کارایی عقیده‌های اعضای همسایهٔ خود را مقایسه کنند و خود را نسبت به آن‌هایی تغییر دهند که نسبتاً موفق هستند. الگوریتم پرش قورباغهٔ چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب اعضای جمعیت، جست‌وجوی سراسری را پروسهٔ تکامل طبیعی می‌داند. در این الگوریتم هر عضو یک گروه، یک والد محسوب می‌شود و می‌تواند در پروسه‌های تکثیر سهیم شود. والدین بهتر نیز با احتمال بیشتری برای تولید نسل بعدی توزیع می‌شوند. فرزند جدید نیز با بدترین مکان در زیرگروه فعلی جایگزین می‌شود.

تولید پاسخ اولیه

نحوهٔ تولید پاسخ اولیه در الگوریتم پرش قورباغه مانند الگوریتم ژنتیک است که در قسمت قبل توضیح داده شد.

تولید پاسخ‌های جدید

پس از اینکه جواب‌های اولیه الگوریتم پرش قورباغه با استفاده از روش ارائه‌شده تولید و پاسخ‌ها ارزیابی شدند، نوبت به تولید جواب‌های نسل بعد می‌رسد. نحوهٔ تولید پاسخ‌های جدید در الگوریتم SFLA به این‌گونه است که اگر پاسخ i پاسخ j را مغلوب کرد، آنگاه پاسخ i پاسخ بهتر است (موقعیت بهترین قورباغه (P_B)). پاسخ j (موقعیت بدترین قورباغه (P_w)) نیز به‌سوی پاسخ i با استفاده از رابطهٔ ۳۶ حرکت می‌کند، اما به‌طور کامل به محل آن نمی‌رسد. دلیل آن نیز مقدار گامی است که هر قورباغه پس از پرش طی می‌کند (c: عدد ثابت -S: گام- X_q^{new}: پاسخ جدید).

$$X_q^{new} = p_w + S$$
$$S = rand * c * (p_B - p_w) \quad (۳۶)$$

چنانچه با این تغییر بهبودی‌ای در میزان توابع هدف در مقایسه با حالت قبلی حاصل نشود، بار دیگر محاسبات با استفاده از روابط فوق صورت می‌گیرد؛ با این تفاوت که از P_x (موقعیت بهترین قورباغه در کل جمعیت) به‌جای P_B استفاده می‌شود. اگر دوباره بهبودی در میزان تابع هدف حاصل نشود، قورباغهٔ جدیدی به‌طور تصادفی تولید می‌شود و به‌جای بدترین حالت قرار می‌گیرد.

تجزیه و تحلیل نتایج

به‌منظور حل و اعتبارسنجی مدل، نتایج حل الگوریتم NSGA-II و الگوریتم NSMOSFLA، با نتایج حل به‌وسیلهٔ نرم‌افزار GAMS 24.1.3 / Couenne مقایسه می‌شوند. الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده‌شده در این مسئله، در محیط MATLAB version 8.1.0.604 (R2013a) کدنویسی و به‌کمک لپ‌تاپ با پردازندهٔ چهارهسته‌ای Intel Core i7- 3632QM 2.2GHz و ۴ گیگابایت حافظه اجرا شد. پارامتر الگوریتم‌های فراابتکاری با استفاده از روش تاگوچی محاسبه و در جدول ۲ و ۳ آورده شده است.

جدول ۲. پارامترهای تنظیم‌شده برای الگوریتم پرش قورباغهٔ چندهدفه

حلقهٔ بیرونی			حلقهٔ درونی	
ممپلکس‌ها	جمعیت ممپلکس	جست‌وجوی سراسری	فرزندان	جست‌وجوی محلی
۱۰	۲۵	۱۰	۵	۳

جدول ۳. مقادیر ایده‌آل تنظیم‌شده برای الگوریتم ژنتیک چندهدفه

جمعیت	تعداد تکرار	احتمال تقاطع	احتمال جهش
۵۰	۱۰۰	۰/۸	۰/۲

در ادامه، به‌منظور اعتبارسنجی مدل، ۷ مسئله طراحی و به روش دقیق و فراابتکاری حل شد و مقایسهٔ نتایج صورت گرفت. اندازهٔ مسائل تأمین- توزیع اقلام عمومی در جدول ۴ آمده است.داده‌های مشترک ۷ مسئله در جدول ۵ قابل‌مشاهده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. ابعاد مسائل طراحی‌شده

مسئله	تولیدکننده	توزیع‌کننده	مشتری	محصول	دوره
۱	۲	۲	۲	۲	۲
۲	۳	۳	۶	۳	۲
۳	۴	۵	۶	۳	۲
۴	۶	۷	۱۰	۵	۳
۵	۷	۸	۱۰	۶	۴
۶	۸	۹	۲۵	۶	۴
۷	۱۰	۱۵	۴۰	۸	۵

جدول ۵. پارامترهای ورودی به‌منظور اجرای مسائل

پارامتر	تابع توزیع یکنواخت	پارامتر	تابع توزیع یکنواخت
D_{kht}	(۱،۱۰۰)	F_{it}	(۱۰۰۰،۱۰۰۰۰)
C_{ijht}	(۱۰۰۰،۱۰۰۰۰)	F_{jt}	(۱۰۰۰،۱۰۰۰۰)
C_{jkht}	(۱۰۰۰،۱۰۰۰۰)	F'_{it}	(۱۰۰،۱۰۰۰)
T_{ijht}	(۰،۲۰)	F'_{jt}	(۱۰۰،۱۰۰۰)
T_{jkht}	(۰،۲۰)	A_{iht}	(۰،۱)
G_i	(۱۰،۱۰۰)	A_{jht}	(۰،۱)
G_j	(۱۰،۵۰)	V_{iht}	(۰،۱)
K_{iht}	(۱۰۰۰،۱۰۰۰۰)	V_{jht}	(۰،۱)
K_{jht}	(۱۰۰۰،۱۰۰۰۰)	Q	۱۰۰

جدول ۶. نتایج حاصل از نرم‌افزار گمز و الگوریتم‌های فراابتکاری در ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ

شمارهٔ مسئله	تابع هدف	گمز		ژنتیک چندهدفه			پرش قورباغهٔ چندهدفه			درصد خطای ژنتیک به پرش قورباغه	متوسط درصد خطای ژنتیک در هر مسئله	متوسط درصد خطای پرش قورباغه 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	F_1	۱.۱۳۲.۰۷۴		۱.۱۵۸.۸۳۴	۲/۴		۱.۱۴۸.۴۷۵	۱/۴		۰/۸		
	F_2	۱۰۷/۱۰۰	۱/۲۸۲	۱۰۷/۱۶۰	۰/۰۵	۵۰/۲۵۱	۱۰۷/۲۴۰	۰/۱	۲۴/۴۷۲	۰/۰۷	۰/۸۵	۰/۶۳
	F_3	۱۰۴/۱۸۰		۱۰۴/۳۰۰	۰/۱		۱۰۴/۷۰۰	۰/۴		۰/۰۳		
۲	F_1	۳۴۶۳۰۹۷۰		۳۴.۶۸۴.۶۹۹	۰/۱		۳۵.۴۹۰.۰۷۳	۲/۴		۰/۲۲		
	F_2	۲۳۸۹/۶۹۰	۶/۱۹۳	۲۳۹۲/۱۰۰	۰/۱	۵۴/۹۱۰	۲۳۹۱/۹۰۰	۰/۰۹	۲۸/۷۱۸	۰/۰۰۸	۰/۱۳	۰/۹۳
	F_3	۲۴۰۲/۷۵۰		۲۴۰۹/۵۰۰	۰/۲		۲۴۱۰	۰/۳		۰/۰۴		
۳	F_1	۶.۵۹۴.۶۵۴		۶.۵۹۷.۹۹۱	۰/۰۵		۶.۶۱۷.۷۹۹	۰/۳		۰/۲		
	F_2	۴۹۱/۰۹۰	۶۳/۴۳۶	۴۹۲/۹۱۰	۰/۳	۵۸/۱۲۹	۴۹۱/۳۸۰	۰/۰۵	۳۱/۲۹۹	۰/۳	۰/۲۱	۰/۱۴
	F_3	۴۹۳/۴۳۰		۴۹۵/۱۱۰	۰/۳		۴۹۳/۸۶۰	۰/۰۸		۰/۲		
۴	F_1	۴۵.۲۲۶.۵۵۰		۴۵.۲۲۶.۶۷۰	۰/۰۰۰۲		۴۵.۳۵۱.۳۹۶	۰/۲		۰/۲		
	F_2	۷۳۰۹/۷۱۲	۱۲۳۶/۲	۷۳۱۷	۰/۰۹	۸۴/۳۰۸	۷۳۱۰/۶	۰/۰۱	۶۴/۵۷۵	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۰۷
	F_3	۷۴۳۹/۸۰۱		۷۴۴۱/۳	۰/۰۲		۷۴۴۱/۲	۰/۰۱		۰/۰۰۱		
۵	F_1	۷۶.۵۰۲.۹۵۰		۷۷.۶۰۵.۱۷۰	۱/۴		۷۷.۵۹۸.۴۲۳	۱/۴		۰/۰۰۸		
	F_2	۱۲۴۷۸/۴۹۶	۵۵۸۰/۷	۱۲۵۰۳/۱۹	۰/۱	۱۱۴/۴۴	۱۲۴۹۰/۹۲	۰/۰۹	۹۶/۳۰۳	۰/۰۹	۲/۲	۱/۳
	F_3	۱۲۰۴۶/۳۷۹		۱۲۶۷۵/۲۱	۵/۲		۱۲۲۴۸/۰۸	۱/۶		۳/۴		
۶	F_1			۲۶۸.۰۶۷.۷۳۷			۲۶۲.۸۲۶.۶۸۷			۱/۹		
	F_2	-	-	۲۱۵۷۰/۶۶	-	۱۴۶/۹۲	۱۹۸۱۲/۳۶	-	۱۳۶/۵۳	۸/۸	-	-
	F_3			۲۰۱۲۹/۵۶			۲۰۲۲۷/۸۱			۰/۰۴		
۷	F_1			۷۲۱.۱۷۵.۴۴۹			۷۰۷.۷۵۲.۹۰۲			۱/۸		
	F_2	-	-	۵۶۳۸۴/۴۱	-	۳۲۹/۸۱	۵۴۹۶۷/۲۲	-	۳۱۷/۰۶	۲/۵	-	-
	F_3			۵۷۰۸۲/۲۵			۵۵.۵۱۷			۲/۸		
							میانگین خطای کل			۱/۲	۰/۶	۰/۵۵

www.SID.ir

Archive of SID

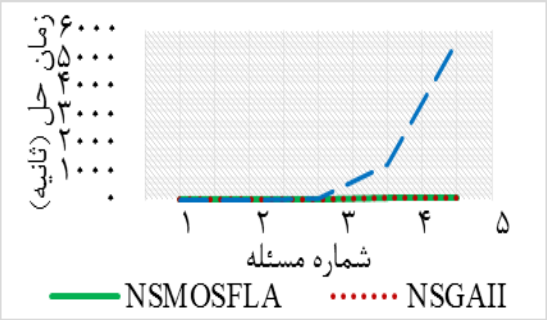
با توجه به اینکه روش دقیق قادر به بهینه‌سازی هم‌زمان هر سه تابع هدف نیست، سه تابع هدف با کمک هم‌فازکردن و با درنظرگرفتن وزن‌های یکسان به یک تابع هدف تبدیل شده و درنهایت با اعمال مفروضات مسئله، به‌کمک روش‌های GAMS، NSGA-II و NSMOSFLA حل می‌شود. مقادیر توابع هدف در جدول ۶ آمده است. مقدار انحراف یا اختلاف تابع هدف (پاسخ) هر الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با حل دقیق از رابطهٔ ۳۷ محاسبه می‌شود:

$$\text{درصد اختلاف جواب} = \left|\frac{\text{جواب روش دقیق} - \text{جواب الگوریتم فراابتکاری}}{\text{جواب روش دقیق}}\right| \times ۱۰۰ \quad (۳۷)$$

به‌منظور مقایسهٔ زمان حل و بررسی معیار میانگین شکاف میان الگوریتم‌های ژنتیک و پرش قورباغه از رابطهٔ ۳۸ استفاده شد:

$$\text{درصد اختلاف جواب} = \left|\frac{\text{جواب الگوریتم فراابتکاری پرش قورباغه} - \text{جواب الگوریتم فراابتکاری ژنتیک}}{\text{جواب الگوریتم فراابتکاری پرش قورباغه}}\right| \times ۱۰۰ \quad (۳۸)$$

در جدول ۶ به تفکیک هر تابع هدف، مقادیر مربوط به سه تابع هدف مذکور، زمان حل و مقدار خطای الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل دقیق و میزان خطای الگوریتم NSGA-II و الگوریتم NSMOSFLA برای هر مسئله آورده شده است.



شکل ۲. مقایسهٔ زمان حل مسائل نمونه با روش فراابتکاری و دقیق

با توجه به جدول ۶، با رشد ابعاد مسائل نمونه، نسبت فاصله از بهینگی و زمان حل الگوریتم‌های فراابتکاری در مقایسه با حل دقیق، به‌ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. با توجه به شکل ۲ سرعت کاهش زمان مدنظر برای حل مسائل به‌کمک الگوریتم‌های فراابتکاری در مقایسه با حل دقیق به‌مراتب بیشتر از سرعت افزایش فاصله از بهینگی نسبی جواب‌های الگوریتم‌های فراابتکاری به حل دقیق است. این امر دلیل دیگری بر کارایی بالای الگوریتم‌های فراابتکاری در مقایسه با حل دقیق، درنتیجه افزایش ابعاد مسائل و نزدیک شدن به مسائل واقعی است.

شاخص‌های مقایسهٔ الگوریتم‌های چندهدفه

در این پژوهش برای بررسی و مقایسهٔ الگوریتم‌های فراابتکاری موردنظر و تحلیل کیفیت جواب‌های به‌دست‌آمده، از پنج معیار استفاده شد [۱۷].

۱. متوسط فاصله از نقطهٔ ایده‌آل

این شاخص میانگین فاصلهٔ اقلیدسی توابع هدف پاسخ‌ها را تا مبدأ مشخص می‌کند. در پژوهش موردنظر دو تابع هدف ماکزیمم‌سازی به مینیمم‌سازی تبدیل شدند و با توجه به اینکه سه تابع هدف کمینه‌سازی هستند، هرچه این متوسط فاصله از نقطهٔ ایده‌آل کمتر باشد کیفیت جواب های پارتو بالاتر است.

۲. بیشترین گسترش

این معیار را زیتلر ارائه کرد که در آن طول قطر مکعب فضایی که به‌کمک مقادیر انتهایی اهداف برای مجموعهٔ پاسخ‌های نامغلوب به‌کار می‌رود اندازه‌گیری می‌شود.

۳. فاصله‌گذاری

این معیار را اسکات ارائه داد که در آن میزان فاصلهٔ نسبی جواب‌های متوالی محاسبه می‌شود. این معیار، یکنواختی توزیع جواب‌های پارتوی به‌دست‌آمده را در مرز پاسخ‌ها آزمایش می‌کند.

۴. تعداد پاسخ‌های پارتو

هرچه این معیار بیشتر باشد، نشان‌دهندهٔ کیفیت بهتر جواب‌های الگوریتم است.

۵. مدت‌زمان پردازش

آخرین معیار زمان اجرای الگوریتم است که به‌عنوان معیار ارزیابی کیفیت درنظر گرفته می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

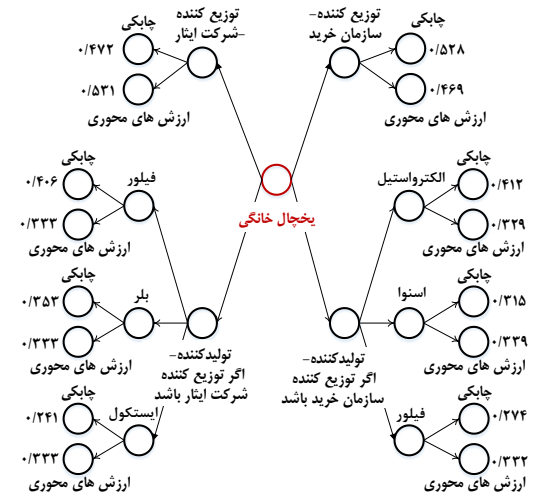
بررسی مورد پژوهش

در این بخش، با توجه به نظر خبرگان و طرح مسئله در شرکت‌های موردنظر، ۶ مسئله براساس مطالعهٔ موردی انتخاب شدند. مراحل حل این مسائل به‌کمک دو فراابتکاری ژنتیک و پرش قورباغه در حالت چندهدفه برای شبکهٔ تأمین– توزیع چندهدفه در زنجیرهٔ تأمین اقلام عمومی شرح داده شد. در مطالعهٔ حاضر، برای سه محصول یخچال خانگی، اجاق‌گاز و کباب‌پز صنعتی، دو توزیع‌کننده (شرکت ایثار و سازمان خرید) در نظر گرفته شده است. همچنین برای هر محصول، سه تولیدکننده ملاحظه می‌شود. در جدول ۷ معیارهایی خاص برای هریک از رویکردهای چابک و ارزشی استفاده‌شده در پرسشنامه آورده شده است. این معیارها با توجه به پیشینهٔ پژوهش و نظرات خبرگان سازمان لجستیکی دولتی احصا شد. محاسبات مربوط به پایایی به‌کمک نرم‌افزار SPSS انجام شده است.

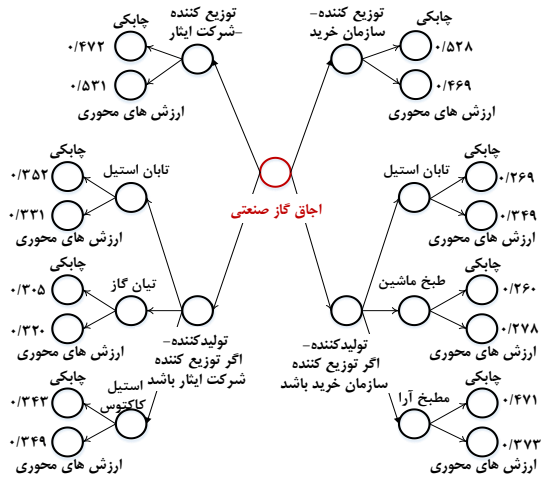
جدول ۷. معیارهای استفاده شده برای قضاوت خبرگان

رویکرد	معیار	منبع	روایی	پایایی
چابکی	حساسیت نسبت به بازار	[۱]، [۶]، [۷]، [۸]، [۱۳]	تأیید شد	۰/۷۳۵
	انعطاف‌پذیری	[۱۴]، [۱۵]	تأیید شد	
	سرعت تحویل کالا	[۱۶]، [۱۷]	تأیید شد	
	کیفیت محصولات	[۱۸]، [۱۹]	تأیید شد	
	شایستگی	[۲۶]، [۲۵]	تأیید شد	
	فناوری اطلاعات	[۲۳]، [۲۲]	تأیید شد	
ارزش‌های محوری	امانت‌داری	[۲۷]، [۲۸]	تأیید شد	
	خدمت‌گزاری	[۲۹]، [۳۰]	تأیید شد	
	عدالت‌محوری	[۳۱]، [۳۳]	تأیید شد	
	صداقت	[۳۲]	تأیید شد	
	محوریت مصالح عامه		تأیید شد	
	مراقبت و خودکنترلی		تأیید شد	

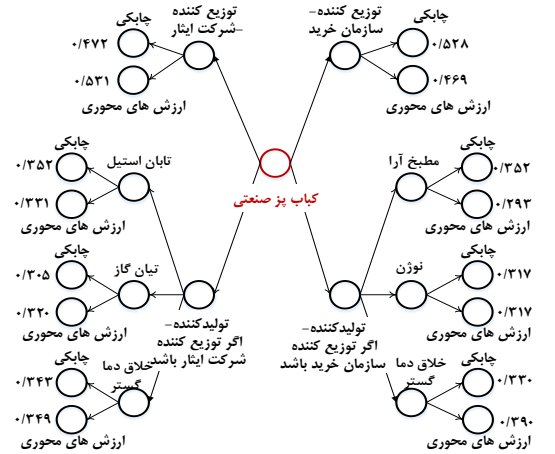
داده‌های عددی چابکی و ارزش‌های محوری مربوط به تولیدکننده و توزیع‌کننده برای هر محصول مطابق شکل‌های ۳، ۴ و ۵ است که با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و نرم‌افزار Expert Choice به‌دست آمده است.



شکل ۳. اوزان مربوط به تولیدکننده و توزیع‌کننده برای یخچال خانگی



شکل ۴. اوزان مربوط به تولیدکننده و توزیع‌کننده برای اجاق‌گاز صنعتی



شکل۵. اوزان مربوط به تولیدکننده و توزیع‌کننده برای کباب‌پز صنعتی

www.SID.ir

Archive of SID

سایر داده‌ها با توجه به نظرات خبرگان سازمان لجستیکی دولتی مطابق جدول ۸ است. پارامترهای فراابتکاری نیز براساس جدول‌های ۲ و ۳ تولید شده است.

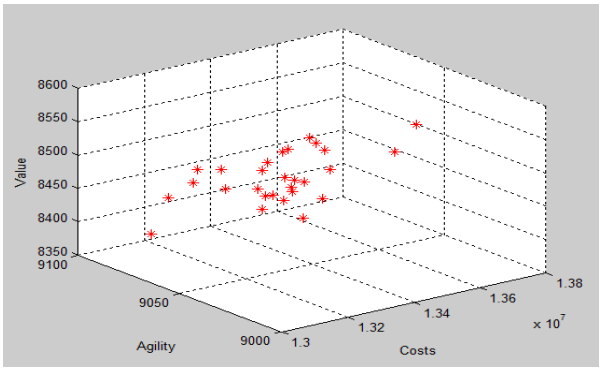
در مطالعهٔ موردی تحقیق، تعداد دوره‌ها برابر ۱۲ دوره (ماه) است. مساله مورد مطالعه، تک محصولی است ولی برای هر محصول، تعداد ۳ تولیدکننده، یک توزیع کننده و ۱۸ مشتری در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از حل ۶ مسئله برای دو الگوریتم در جدول ۹ آمده است. مقادیر این دو الگوریتم به‌کمک پنج شاخص تعریف شده در قسمت قبل و توابع هدف هزینه، چابکی و ارزش‌های محوری ارزیابی شده‌اند.

جدول ۸. پارامترهای ورودی به‌منظور اجرای مطالعهٔ موردی

پارامتر	تابع توزیع یکنواخت	پارامتر	تابع توزیع یکنواخت
D_{kht}	(۱،۱۰۰)	F_{it}	(۱۰۰،۱۰۰۰)
C_{ijht}	(۱۰۰،۱۰۰۰)	F_{jt}	(۱۰۰،۱۰۰۰)
C_{jkht}	(۱۰۰،۱۰۰۰)	F'_{it}	(۱۰،۱۰۰)
T_{ijht}	(۰،۲۰)	F'_{jt}	(۱۰،۱۰۰)
T_{jkht}	(۰،۲۰)	K_{iht}	(۵۰۰۰،۱۰۰۰۰)
G_i	(۱۰،۱۰۰)	K_{jht}	(۱۰۰۰،۵۰۰۰)
G_j	(۱۰،۱۰۰)	Q	۱۰

جدول ۹. مقادیر الگوریتم‌های ژنتیک و پرش قورباغه به ازای شاخص‌های مقایسه‌ای

توزیع‌کننده/ محصول	اندازهٔ مسئله i/j/k/h/t	تابع هدف	ژنتیک چندهدفه: مقدار هدف	فاصله از نقطهٔ ایده‌آل	بیشترین گسترش	فاصله‌گذاری	تعداد پاسخ	زمان (ثانیه)	پرش قورباغه چندهدفه: مقدار هدف	فاصله از نقطهٔ ایده‌آل	بیشترین گسترش	فاصله‌گذاری	تعداد جواب	زمان (ثانیه)
شرکت ایثار (یخچال)	۳×۱×۱۸×۱×۱۲	F_1	۱۲۶۶۷.۹۶۲						۱۲.۴۹۶.۰۸۸					
		F_2	۸۴۹۷/۵	۱۳.۰۶۱.۰۰۱	۷۱۵.۰۵۲	۲۳۲.۰۲۴	۱۹	۷۷/۲۹	۸۲۸۲/۳	۱۲.۹۶۷.۶۱۲*	۸۹۸.۶۲۰*	۱۹۱.۳۴۳*	۲۰*	۶۶/۵۵*
		F_3	۹۱۵۷						۸۸۵۸/۴					
شرکت ایثار (اجاق‌گاز)	۳×۱×۱۸×۱×۱۲	F_1	۱۲.۷۴۹.۸۷۹						۱۲۸۰۰۱۲۱					
		F_2	۸۳۴۱/۵	۲.۰۶۴۷۲*۱۲.۸۴۸.۲۷۵*		۵۸.۸۸۷*	۱۸*	۷۶/۸	۸۳۷۷/۷	۱۲.۹۳۱.۲۱۱	۱۹.۷۲۸۰	۹۷.۳۳۲	۱۳	۶۸/۸۶*
		F_3	۸۹۳۵						۸۹۹۷/۳					
شرکت ایثار (کباب‌پز)	۳×۱×۱۸×۱×۱۲	F_1	۱۳.۰۲۶.۵۳۲						۱.۲۸۰.۰۱۲۱					
		F_2	۸۵۱۵/۵	۲.۰۶۴۷۲*۱۲.۸۴۸.۲۷۵*		۵۸.۸۸۷*	۱۸	۷۶/۸۰۳	۸۳۷۷/۷	۱۲.۹۹۶.۲۰۳	۱.۱۷۵.۱۵۵	۲۵۱.۶۱۳	۲۸*	۶۶/۵۱۰*
		F_3	۹۱۴۷/۲						۸۹۹۷/۳					
سازمان خرید (یخچال)	۳×۱×۱۸×۱×۱۲	F_1	۱۲.۸۶۲.۶۱۷						۱۲۸۹۲۴۹۰					
		F_2	۸۹۴۹/۳	۱.۳۱۳.۷۴۷۰	۳۱۲.۶۴۷	۱۳۶.۱۷۴	۲۴	۷۸/۷۸۲	۸۶۰۷/۴	۱.۳۰۸.۵۷۹۰*	۶۰۰.۹۲۱*	۱۸.۵۴۵*	۴۶*	۶۵/۶۰۲*
		F_3	۸۴۳۶/۷						۹۲۴۰/۷					
سازمان خرید (اجاق‌گاز)	۳×۱×۱۸×۱×۱۲	F_1	۱۳.۱۷۹.۲۹۷						۱۲۷۹۱۵۰۵					
		F_2	۹۲۲۱/۵	۱۳.۴۸۹.۹۵۸	۳۱۹.۳۹۳*	۹۷.۰۸۴	۲۷*	۷۶/۱۰۷	۹۰۱۸/۶	۱۳.۲۰۹.۴۳۷*	۱۰.۰۳۵۷	۸۷۱۹*	۱۳	۶۸/۲۱۹*
		F_3	۸۵۱۸/۳						۸۴۴۷/۹					
سازمان خرید (کباب‌پز)	۳×۱×۱۸×۱×۱۲	F_1	۱۳.۳۹۷.۰۰۲						۱۳.۰۴۹.۰۹۵					
		F_2	۹۰۷۸	۱۳.۷۶۳.۱۰۵	۷۳۲.۹۷۶*	۱.۱۷۴*	۳۰*	۷۵/۷۵۱	۹۰۰۴/۸	۱۳.۲۲۱.۹۹۷*	۳۲۲.۱۰۲	۳۵.۵۳۶	۲۸*	۶۷/۰۹۳*
		F_3	۸۵۰۲/۵						۸۵۰۷/۷					



شکل ۶. جبههٔ نامغلوب جواب نهایی مسئلهٔ ۶ با ابعاد ۳×۱×۱۸×۱×۱۲ به‌کمک الگوریتم قورباغهٔ چندهدفه

www.SID.ir

Archive of SID

بهترین پاسخ‌ها در جدول ۹ با علامت ستاره نشان داده شده است. براین‌اساس و با توجه به برتربودن الگوریتم پرش قورباغه، با تنظیم پارامترهای این الگوریتم و با استفاده از داده‌های فرضی ایجادشده برای مسئلهٔ ۶ (در جدول ۹)، حل بهینهٔ این مسئله صورت گرفته است. پس از اجرای الگوریتم پرش قورباغه چندهدفه، سطحی از جبههٔ نامغلوب پاسخ نهایی مسئلهٔ مذکور به‌دست می‌آید که در شکل ۶ آمده است.

با توجه به شکل ۶، سطحی از پاسخ‌ها به‌صورت جبههٔ نامغلوب برای مسئلهٔ ۶ تولید شده است. مطابق این نتایج، مدیران و تصمیم‌گیرندگان در زنجیرهٔ تأمین اقلام عمومی می‌توانند براساس اهمیتی که هریک از توابع هدف برای آن‌ها دارد، تصمیم بگیرند که در هر دوره، چه مقدار محصول مورد نیاز است و میزان سرمایه‌گذاری موردنیاز را تعیین کنند.

تحلیل حساسیت روی تقاضا

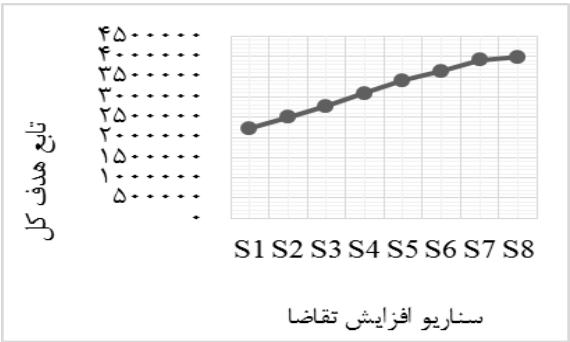
به‌طورکلی تقاضا یکی از مهم‌ترین پارامترها در مسائل طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین است. در جدول ۱۰ و شکل ۷ (مسئلهٔ ۳ در جدول ۴) روند تغییر مقدار تابع هدف کل با توجه به افزایش میزان تقاضا آمده است. همان‌طور که مشخص است با افزایش میزان تقاضا در مدل، مقدار هزینه‌ها، چابکی و ارزش‌های محوری زنجیرهٔ تأمین افزایش یافته است. در نتیجه می‌توان گفت رابطهٔ میزان تقاضا با اهداف سه‌گانه در مدل، مستقیم و روند تغییرات صعودی است.

تحلیل حساسیت ضرایب توابع هدف

مسئلهٔ ۳ در جدول ۴ را در نظر بگیرید. فرض کنید توابع هدف چابک و ارزش‌های محوری برای مدیریت سازمان از اهمیت بیشتری برخوردار باشند؛ از این‌رو در هر بار حل مدل، ضرایب تابع هدف دوم و سوم مدل را افزایش می‌دهیم و با استفاده از نتایج، نقش چابکی و ارزش‌های محوری را روی هزینه‌ها بررسی می‌کنیم. جدول ۱۱ نتایج حاصل از تغییر ضرایب تابع هدف چابکی و ارزش‌های محوری را نشان می‌دهد. در هر بار اجرای برنامه، به ضریب تابع هدف چابکی و ارزش‌های محوری اضافه می‌کنیم و از ضریب تابع هدف هزینه‌ها کم می‌کنیم.

جدول ۱۰. میزان حساسیت توابع هدف نسبت به افزایش تقاضا

مسئله	ردیف	سناریوی افزایش تقاضا	مقدار تابع هدف چابکی	مقدار تابع هدف ارزش‌های محوری	مقدار تابع هدف هزینه‌ها	مقدار تابع هدف کل
۳	۱	۱ × Demand	۵۲۶/۵۵	۵۱۷/۳۳	۶۶۶۹۴۰۷	۲۲۲۲۷۸۸/۰۴۰
	۲	۱/۵ × Demand	۵۹۲/۵۲۹	۵۸۵/۲۲۸	۷۴۹۱۰۳۰/۳	۲۴۹۶۶۱۷/۸۴۸
	۳	۱/۳۰ × Demand	۶۶۰/۹۳۶	۶۵۵/۵	۸۳۱۸۸۵۳	۲۷۷۲۵۱۲/۵۲۱
	۴	۱/۴۵ × Demand	۷۳۸/۹۷۸	۷۳۴/۳۱۹	۹۲۷۰۸۴۱/۵	۳۰۸۹۷۸۹/۷۳۴
	۵	۱/۶۰ × Demand	۸۰۸/۸۹۶	۷۸۲/۵۴۸	۱۰۲۲۳۴۷۰	۳۴۰۷۲۹۳/۱۱۹
	۶	۱/۷۵ × Demand	۸۷۲/۴۳	۸۵۱/۷۰۸	۱۰۹۳۶۶۴۰	۳۶۴۴۹۷۱/۸۷۱
	۷	۱/۹۰ × Demand	۹۱۴/۰۴۴	۹۱۱/۲۱۳	۱۱۷۱۹۰۵۰	۳۹۰۵۷۴۲/۵۸۱
	۸	۱/۹۵ × Demand	۹۷۴/۰۳۶	۹۵۳/۹۰۲	۱۱۹۶۱۴۲۰	۳۹۸۶۴۹۶/۴۸۷



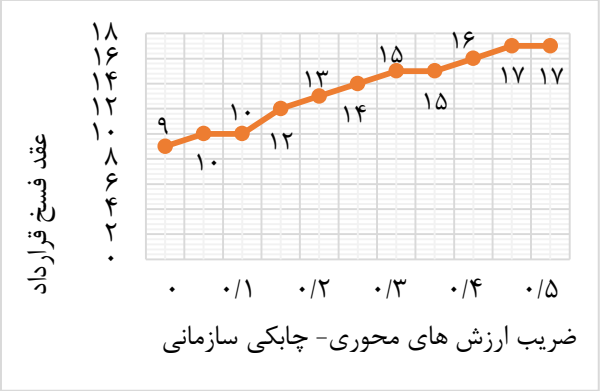
شکل ۷. مقایسهٔ روند افزایش تابع هدف کل در سناریوهای افزایش تقاضا

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۱. اثر ضریب تابع هدف چابکی و ارزش‌های محوری بر عقد و فسخ قراردادها

مسئله	ردیف	ضریب تابع هدف هزینه	ضریب تابع هدف چابکی	ضریب تابع هدف ارزش‌ها	هدف ۱	هدف ۲	هدف ۳	زمان حل (ثانیه)	مجموع تعداد عقد و فسخ قرارداد
	۱	۱	۰	۰	۶.۶۰۹.۷۳۸	۴۷۴/۱۹۹	۴۹۱/۱۶۷	۱۰۳/۵۵	۹
	۲	۰/۹	۰/۰۵	۰/۰۵	۶.۶۲۵.۳۸۴	۴۷۷/۱۵۴	۴۹۶/۴۶۱	۶۸/۳۵	۱۰
	۳	۰/۸	۰/۱	۰/۱	۶.۶۳۳.۱۴۴	۴۹۵/۱۹	۴۹۹/۷۵	۸۰/۸۳	۱۰
	۴	۰/۷	۰/۱۵	۰/۱۵	۶.۶۳۳.۷۴۴	۵۰۰/۵۴۰	۵۰۳/۵۳	۵۸/۸۷	۱۲
	۵	۰/۶	۰/۲	۰/۲	۶.۶۴۵.۹۱۹	۵۰۴/۵۹	۵۰۵/۱۷۸	۶۷/۷۵	۱۳
۳	۶	۰/۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۶.۶۹۲.۹۶۳	۵۰۶/۶۷۸	۵۰۸/۵۵	۸۰/۰۶	۱۴
	۷	۰/۴	۰/۳	۰/۳	۶.۷۲۴.۱۲۵	۵۰۸/۲۲	۵۱۳/۳۹	۶۱/۲۲	۱۵
	۸	۰/۳	۰/۳۵	۰/۳۵	۶.۷۷۶.۵۳۴	۵۲۲/۴۲	۵۱۵/۵۴۲	۶۳/۶۸	۱۵
	۹	۰/۲	۰/۴	۰/۴	۶.۸۱۶.۵۳۴	۵۲۶/۶۵۷	۵۲۲/۵۷۰	۴۳/۵۶	۱۶
	۱۰	۰/۱	۰/۴۵	۰/۴۵	۶.۸۸۳.۴۵۵	۵۳۳/۴	۵۲۷/۹۴	۶۲/۰۸	۱۷
	۱۱	۰	۰/۵	۰/۵	۶.۸۹۹.۱۶۶	۵۳۷/۴	۵۲۹/۹۴	۶۴/۶۷	۱۷



شکل ۸. اثر افزایش ضریب تابع هدف چابکی و ارزش‌های محوری بر عقد و فسخ قراردادها

شکل ۸ روند تغییر مجموع تعداد عقد و فسخ قراردادها را براساس افزایش ضرایب هدف چابکی و ارزش‌های محوری نشان می‌دهد. با افزایش این ضرایب، تعداد عقد و فسخ قراردادها بیشتر می‌شود. در واقع زمانی که شاخص‌های چابکی و ارزش‌های محوری در مدل اهمیت بیشتری داشته باشد، توجه به هزینه‌ها کمتر می‌شود. درنتیجه می‌توان گفت مجموع عقد و فسخ قراردادها با ضرایب چابکی و ارزش‌های محوری رابطهٔ مستقیم دارد و روند تغییرات صعودی است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به‌منظور کاهش زمان خدمت‌رسانی و رضایت مشتریان، شبکهٔ زنجیره تأمین سه‌سطحی و سه‌هدفهٔ مبتنی بر ناب، چابک و ارزش‌های محوری توسعه داده شده است. پژوهش موردنظر در مرحلهٔ اول با انجام پژوهش میدانی و با استفاده از نظر خبرگان، معیارهای چابکی و ارزش‌های محوری مدنظر یک سازمان تأمین اقلام (سازمان لجستیکی دولتی) را شناسایی کرد. همچنین با استفاده از پرسشنامه، روش AHP و کار میدانی (استفاده از نظرات خبرگان سازمان لجستیکی دولتی و با اثبات روایی و پایایی پژوهش) وزن تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان متناسب با دو رویکرد چابکی و ارزش‌های محوری تعیین شد. در مرحلهٔ دوم، تابع هدف جدید ارزش‌ها به‌همراه اهداف ناب- چابک زنجیرهٔ اقلام از طریق مدل‌سازی ریاضی تلفیق شده است. پس از اجرای مدل ریاضی، مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم‌های فرااِبتکاری پرش قورباغه و ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب با جواب‌های نرم‌افزار GAMS در حل چند نمونهٔ آزمایشی، نشان می‌دهد جواب‌های الگوریتم‌های فرااِبتکاری از پاسخ‌های GAMS برای مسائل مختلف، اختلافی کمتر از یک درصد دارد که در جدول ۶ آمده است. این نتایج نشان می‌دهد

www.SID.ir

Archive of SID

الگوریتم‌های پیشنهادی هم‌گرا به پاسخ بهینه و کارا هستند. برای مقایسهٔ نتایج حاصل از الگوریتم NSGA-II و NSMOSFLA با کمک شاخص‌های مقایسه‌ای، چند نمونه مسئله از دنیای واقعی در این زمینه حل شد. نتایج حاصل از مقایسهٔ این الگوریتم‌ها بیان می‌کند که الگوریتم NSMOSFLA در بیشتر مسائل توانایی زیادی برای تولید تعداد جواب‌های پارتویی متنوع با گستردگی بالا دارد.

پیشنهادها و پژوهش‌های آتی

توسعهٔ شبکهٔ زنجیره تأمین اقلام عمومی با دو رویکرد توصیفی و ریاضی از مباحث جدید در زمینهٔ زنجیره تأمین است. به همین دلیل فرصت‌های مطالعاتی بسیاری در این حوزه وجود دارد که می‌تواند مدنظر پژوهشگران قرار بگیرد و با کاربردی کردن آن‌ها و ارتباط با شرکت‌های تأمین اقلام به اجرای آن‌ها اقدام شود. در این قسمت برای جامعیت بخشیدن به پژوهش، پیشنهادهای زیر توصیه می‌شود:

۱. در راستای واقعی‌ترکردن مدل می‌توان شرایط عدم قطعیت پارامترهای مسئله را درنظر گرفت و از پارامترهای فازی یا احتمالی استفاده کرد.

۲. تعمیم مدل پیشنهادی به مسئلهٔ طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین حلقهٔ بسته، می‌تواند مورد توجه محققین آتی قرار گیرد.

۳. زنجیره‌های تأمین سبز، پایدار و... ازجمله مواردی است که درنظرگرفتن معیارهایی مانند چابکی و ارزش‌های محوری در آن می‌تواند اهمیت داشته باشد.

۴. توسعهٔ مدل در شرایطی که بحث برنامه‌ریزی تولید و کنترل موجودی برای تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان مدنظر قرار داده می‌شود.

منابع

1. Bashiri, M., and Khorasani, H. J. (2015). "Multi-Objective Supply Chain Network Design With Agility Elements", *In Master's Thesis, Tehran, Eyvanekey Institute of Higher Education*, PP. 1-133. *(In Persian)*
2. Omrani, H., and Adabi, F. (2016). "A Multiple Objective Programming Model for Designing of Supply Chain Network with Efficient Manufacturers and Distributers", *Journal of Industrial Engineering, University of Tehran*, Vol. 50, No. 2, PP. 261-278.
3. Nasiri, M. M., and Pourmohammad Zia, N. (2015). "A Hybrid Model for Supplier Selection and Order Allocation in Supply Chain", *Journal of Industrial Engineering, University of Tehran,* Vol. 49, No. 1, PP. 117-128.
4. Amin, S. H., and Zhang, G. (2013). "A Multi-Objective Facility Location Model for Closed-Loop Supply Chain Network Under Uncertain Demand and Return", *Applied Mathematical Modelling,* Vol. 37, No. 6, PP. 4165-4176.
5. Chavez, R, Yu, W., and Jacobs, M. A. (2016). "The Effect of Internal Communication and Employee Satisfaction on Supply Chain Integration", *International Journal of Production Economics Manufacturing System and Design*, Vol. 171, PP. 60-70.
6. Razmi, J., Khaleghinasab, M. M., and Babazadeh R. (2013). "Multi-Period Model of Agile Supply Chain Network in Case of Definite Demand", *National Conference On Industries And Systems*, PP. 1-8. *(In Persian).*
7. Ramezani, M., Bashiri, M., and Tavakkoli-Moghaddam, R. (2013). "A New Multi-Objective Stochastic Model for a Forward/Reverse Logistic Network Design with Responsiveness and Quality Level", *Applied Mathematical Modelling,* Vol. 37, No. 3, PP. 328–344.
8. Varsei, M., and Polyakovskiy, S. "Sustainable Supply Chain Network Design: A Case of the Wine Industry In Australia", *Omega.*, 2016.
9. Allaoui, H. et al. (2018). "Sustainable Agro-Food Supply Chain Design Using Two-Stage Hybrid Multi-Objective Decision-Making Approach", *Computers and Operations Research*, Vol. 89, P. 369–384, 2018.

www.SID.ir

Archive of SID

10. Hajiaghaei-Keshteli, M., and Fathollahi-Fard, A, M. (2018). "Sustainable Closed-Loop Supply Chain Network Design with Discount Supposition", *Neural Computing and Applications*, PP. 1-35, 2018.
11. Samadi, A. et al. (2018). "Heuristic-Based Metaheuristics to Address a Sustainable Supply Chain Network Design Problem", *Journal of Industrial and Production Engineering*, Vol. 35, No. 2, PP. 102-117.
12. Sahebjamnia, N., Fathollahi Fard, A, M., and Hajiaghaei-Keshteli, M. (2018). "Sustainable Tire Closed-Loop Supply Chain Network Design: Hybrid Metaheuristic Algorithms for Large-Scale Networks", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 196, PP. 273-296.
13. Tizroo, A, and Azar, A. (2010). "Modeling Agility of Supply Chain - Interpretive Structural Modeling Approach ,Case: Zob Ahan Co", *A Thesis Presented for the Degree Ph.D. of Management – Operation Research*, PP. 1-300, July 2010, (In Persian).
14. Marzoghi, R., Tokrzadeh, J., and Peyravinezhad, Z. (2016). "Developing and Accrediting an Islamic Spiritual Leadership Framework in Organization from the Perspective of Nahj-Ol-Balaghe", *Journal of Nahj-Ol-Balaghe*, Vol. 3, No. 12, PP. 43-70. *(In Persian)*
15. Amaliah, I., Aspiranti, T., and Purnamasari, P. (2015). "The Impact of the Values of Islamic Religiosity to Islamic Job Satisfaction in Tasikmalaya West Java, Indonesia, Industrial Centre", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 211, PP. 984-991.
16. Emamverdi Malek, S., Hassan-Pour, H. A., and Nourang, A. (2015). "Evaluation Model of Lean and Agility Supply Chain for Clothing", In *Master's Thesis*, Emam Hossein University, Tehran (In Persian).
17. Mohsen Notash, M., Zandieh, M., and Dorri Nokorani, B. "Using A Genetic Algorithm Approach for Designing Multi-Objective Supply Chain Network", *Management Research In Iran***,** Vol. 18, No. 4, PP. 183-203. *(In Persian)*
18. Shankar, B. L. et al. (2013). "Location and Allocation Decisions for Multi-Echelon Supply Chain Network–A Multi-Objective Evolutionary Approach", *Expert Systems With Applications*, Vol. 40, No. 2, PP. 551-562, 2013.
19. Sarrafha, K. et al. (2015). "Bi-Objective Integrated Procurement, Production, and Distribution Problem of a Multi-Echelon Supply Chain Network Design: A New Tuned MOEA", *Computers and Operations Research*, Vol. 54, PP. 35-51. *(In Persian)*
20. Zhang, S. et al. (2016). "Multi-Objective Optimization for Sustainable Supply Chain Network Design Considering Multiple Distribution Channels", *Expert Systems with Applications*, Vol. 65, PP. 87-99, 2016.
21. Chaabane, A., Ramudhin, A., and Paquet, M. (2012). "Design of Sustainable Supply Chains Under the Emission Trading Scheme", *International Journal of Production Economics*, Vol. 135, No. 1, PP. 37-49.
22. Dehghanian, F., and Mansour, S. (2009). "Designing Sustainable Recovery Network of End-of-Life Products Using Genetic Algorithm", *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 53, No. 10, PP. 559-570.
23. Zareian Jahromi, H. et al. "A Robust Multi Objective Optimization Model For Sustainable Closed-Loop Supply Chain Network Design", *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, Vol. 2, No. 3, PP. 93-111. *(In Persian)*
24. Yaghini, M., and Akhavan- Kazemzadeh, M. R. (2016). Metaheuristic Optimization Algorithms, Tehran: Amirkabir University of Technology.
25. Khosroabadi, H., and Rezaeemanesh, B. "Designing of Ethical Decision Making Model of Managers Based on Nahj-Ol-Balaghe Teachings", *Journal of Nahj-Ol-Balaghe*, Vol. 3, No. 11, PP. 1-28. *(In Persian)*
26. Dehaghi, M. R., Goodarzi, M., and Arazi, Z. K. "The Effect of Spiritual Values on Employees' Organizational", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, P. 159 – 166, 2012.
27. Jasti, N. V. K., and Kodali, R. (2016). "Development of a Framework for Lean Production System: An Integrative Approach", *Proceedings of the Institution Of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 230, No. 1, PP. 136-156.

www.SID.ir

Archive of SID

28. Agarwal, A., Shankar, R., and Tiwari, M. (2007). "Modeling Agility of Supply Chain", *Industrial Marketing Management*, Vol. 36, No. 4, PP. 443-457.
29. Sharifi, H., and Ismail, H. (2016). "A Framework for Operational Agility: How Smes Are Evaluating Their Supply Chain Integration", In *Managing in a VUCA World*, Springer International Publishing, 2016, PP. 151-168.
30. Jahanbin, F., and Nemati, M. (2015). "The Criteria and Guidelines of Justice in Nahj-Ol-Balaghe", *Journal of Nahj-Al-Balaghe*, Vol. 3, No. 10, PP. 103-122. *(In Persian)*
31. Pan, F., and Nagi, R., "Multi-Echelon Supply Chain Network Design in Agile Manufacturing", *Omega*, Vol. 41, No. 6, PP. 969-983.
32. Razmi, J., Seifoory, M., and Pishvaee, S. M. (2011). "A Fuzzy Multi-Attribute Decision Making Model for Selecting the Best Supply Chain Strategy: Lean, Agile or Leagile", *Journal of Industrial Engineering, University of Tehran*, Vol. 45, Special Issue, PP. 127-142. *(In Persian)*
33. Jabale, M., and Hassan-Pour, H. A. (2017). "Design A Multi- Objective, Multi-Level Supply Chain Network Based on Agility and Values of the Organizational and Solving it with an Efficient Method", In *Master's Thesis*, Tehran, Emam Hossein University, 2017, Pp. 1-250.

پی‌نوشت‌ها

1. Relative Deviation Index
2. Generation
3. Mating Pool
4. Crossover
5. Mutation
6. Reproduction
7. Iversification
8. Arithmetic Crossover
9. Uniform Crossover
10. Non Uniform Mutation
11. Gaussian Distribution (Normal Distribution)
12. Genetic-based Memetic Algorithm
13. Social Behavior-based PSO

واژه‌های استفاده شده در متن

1. Lean- Agile- Values
2. Supply Chain
3. Nonlinear Integer Mathematical Mode
4. NSGA-II
5. NSMOSFLA

www.SID.ir