نشریه علمی «مدیریت زنجیره تامین»
سال بیست و چهارم، شماره ۷۶، پاییز ۱۴۰۱؛ ص ۷۴- ۵۹

علمی ـ پژوهشی

مدل چندهدفه طراحی شبکه تأمین‌کنندگان قابل‌اطمینان چرخه‌ای با لحاظ اشتراک دانش، پشتیبان و معیارهای چرخه‌ای

سید محمد سجادیان[۱]، مرتضی عباسی[۲*]، رضا حسنوی[۳]

۱- دانشجوی دکتری، ۲- استادیار، ۳- استاد گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران
(دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۲، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۱)

چکیده

با توجه به تهدیدات جهانی مانند بیماری‌های همه‌گیر و جنگ برای زنجیره‌های تأمین، طراحی مجدد شبکه تأمین‌کنندگان با معیارهای چرخه‌ای، کاهش هزینه و پشتیبان گیری مناسب برای کاهش ریسک عرضه، یک نیاز حیاتی در جامعه صنعتی امروز است. لذا این مقاله برای پاسخگویی به این مسئله، یک مدل چندهدفه با اهداف متناقض برای طراحی شبکه تأمین‌کنندگان قابل‌اعتماد چرخه‌ای با لحاظ قابلیت اشتراک دانش، پشتیبان، مهارت، شبکه‌های همکاری قابل‌اعتماد، هزینه، ظرفیت، تخصیص سفارش و معیارهای چرخه‌ای برای محصول ماژولار توسعه داد. مدل پیشنهادی برای طراحی شبکه به‌طور هم‌زمان عوامل کلیدی: ۱) معیارهای چرخه‌ای، ۲) شبکه همکاری و سوابق قبلی بین تأمین‌کنندگان، ۳) مهارت، ۴) قابلیت اشتراک دانش و تجربه، و ۵) هزینه و تأمین‌کنندگان پشتیبان را در نظر گرفت. مدل بامطالعه عددی داده شبیه‌سازی‌شده و نیز با داده واقعی دوربین الکترواپتیکی، ارزیابی شد و با روش دقیق محدودیت اپسیلون تقویت‌شده و ال‌پی‌متریک و حل دقیق مسائل در مقیاس کوچک اعتبارسنجی گردید و تحلیل حساسیت نیز انجام گردید؛ لذا ابتدا یک محصول ماژولار انتخاب گردید و تعداد ماژول‌ها با خوشه‌بندی مشخص شد. پس‌ازآن معیارها، پارامترها و متغیرها تعیین گردید و پس از فرمول‌بندی و حل مدل، مدل اعتبار سنجی گردید و نتایج، تیم‌ها و تخصیص بهینه سفارش تعیین گردید. از نتایج حاصل از حل مدل با داده ساختگی، تیم اصلی (۱، ۲، ۳، ۴ و ۱۵) و تیم پشتیبان (۴، ۸ و ۹) به دست آمد. همچنین از نتایج حاصل از حل مدل با داده واقعی، تیم اصلی (۱، ۲، ۳، ۸، ۹ و ۱۰) و تیم پشتیبان (۴) به دست آمد. نتایج نشان داد که این رویکرد بر اساس تمامی مفروضات، شبکه تأمین‌کنندگان قابل‌اطمینان چرخه‌ای بهینه را در دو مجموعه اصلی و پشتیبان با کمترین هزینه، بیشترین اشتراک دانش و قابلیت اعتماد و معیارهای چرخه‌ای پیشنهاد می‌نماید. نتایج منطبق با نیاز جامعه صنعتی مدرن می‌باشد. در پایان پیشنهادهایی برای تحقیقات آینده ارائه گردید.

واژه‌های کلیدی: معیارهای چرخه‌ای (دایرهای یا مدور)، انتخاب تأمین‌کنندگان چرخه‌ای قابل‌اطمینان و تخصیص سفارش، ماتریس ساختار طراحی، معماری محصول ماژولار، مدل چندهدفه

۱- مقدمه

امروزه، جامعه و دولت‌ها به‌طور فزاینده‌ای بر شرکت‌ها فشار می‌آورند تا با محیط‌زیست سازگار شوند و اقتصاد چرخه‌ای[1] را به‌کارگیرند. همچنین، آن‌ها همکاری با تأمین‌کنندگان و شرکا را برای به حداقل رساندن یا اجتناب از رقابت انتخاب کرده‌اند و معیارهای انتخاب تأمین‌کننده چرخه‌ای (دایره‌ای) را برای همکاری در نظر می‌گیرند. همچنین چالش‌های زنجیره تأمین همچون بیماری‌ها و جنگ بر اهمیت در نظر گرفتن تأمین‌کنندگان پشتیبان قابل‌اعتماد می‌افزاید؛ لذا در نظر گرفتن پشتیبان، معیارهای اقتصاد چرخه‌ای سازگار با محیط‌زیست و نیز شبکه همکاری تأمین‌کنندگان قابل‌اعتماد کاربردهای زیادی برای بازطراحی زنجیرهای تأمین شرکت‌ها دارد. شرکت‌های مدرن امروزی بر قابلیت‌های کلیدی خود تمرکز می‌کنند، تا در رقابت شدید بازارهای در حال ظهور جهانی پیروز شوند [۱] و لذا سهم بالایی از ارزش‌آفرینی خود را به تأمین‌کنندگان واگذار نمایند [۲].

تأمین‌کنندگان به‌عنوان اولین سطح شبکه زنجیره تأمین تأثیر قابل‌توجهی بر کارایی کل شبکه‌دارند. حدود ۷۰ درصد از هزینه محصولات مربوط به هزینه خرید مواد اولیه از تأمین‌کنندگان است [۳]. بهترین ابزار برای تصمیم‌گیرندگان برای فرمول‌بندی مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان برنامه‌ریزی ریاضی است [۴ و ۵]. تحقیق‌هایی نیز در زمینه ارتباط تأمین‌کنندگان و خریداران، ارتباط تأمین‌کنندگان و فروشندگان، ارتباط تأمین‌کنندگان و تأمین‌کنندگان تاکنون انجام گرفته است. همچنین ارتباط بین تأمین‌کنندگان حوزهٔ مهمی است که توجه

* رایانامه نویسنده مسئول: morabbasi@gmail.com

[1] CE: Circular Economy

زیادی را در ادبیات مدیریت زنجیرهٔ تأمین به خود جلب کرده است [۶]. انتخاب پشتیبان در مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان نیز توسط برخی از محققان موردتوجه قرار گرفته است [۷-۱۰]. همچنین موضوع تأمین‌کننده قابل‌اطمینان در زنجیره تأمین نیز موردمطالعه قرار گرفته است [۱۱-۱۴]. همچنین اخیراً موضوع انتخاب تأمین‌کننده چرخه‌ای با مدل ریاضی در زنجیره تأمین حلقه بسته موردتوجه محققان قرار گرفته است [۱۵, ۱۶]. برخی از محققان همچون [۱۷] در طراحی محصول به قابلیت اشتراک دانش پرداخته‌اند؛ لذا یکی از مزیت‌های رقابتی و شاخص‌های کلیدی موفقیت تولیدکنندگان و شرکت‌های امروزی، طراحی شبکه تأمین‌کنندگان قابل‌اعتماد با شاخص‌های چرخه‌ای در ابتدای چرخه عمر محصولات و خدمات می‌باشد؛ لذا این مقاله بر ارتباط و انطباق بین معماری محصول و شبکه تأمین‌کنندگان با مدل ریاضی متمرکز است. در توسعه محصول، تصمیمات در مورد معماری محصول و شبکه تأمین معمولاً به ترتیب گرفته می شوند که به تصمیمات غیر بهینه منجر می‌شود.

در واقع، این مدل به دنبال یک تخصیص چند به چند بین تأمین‌کنندگان و ماژول‌ها است، هرچند یک ماژول هم‌زمان نمی‌تواند به تأمین‌کننده در تیم اصلی و تیم پشتیبان واگذار گردد. ولی یک تأمین‌کننده می‌تواند هم‌زمان بیش از یک ماژول را اختیار کند. در تیم پشتیبان هم‌زمان حداقل یک و حداکثر دو تأمین‌کننده به‌عنوان ذخیره و پشتیبان تأمین‌کننده اصلی، در نظر گرفته می شوند تا ریسک اختلال عدم همراهی تأمین‌کننده تا انتهای تحویل ماژول را کاهش دهند؛ لذا در این مطالعه، یک محصول با معماری ماژولار مثل دوربین انتخاب شد و با ارتباطات فیزیکی بین اجزاء ماتریس ساختار طراحی ایجاد گردید. تعداد ماژول‌ها با خوشه‌بندی ماتریس، تعیین گردید. تعدادی تأمین‌کنندگان بالقوه نیز وجود دارد، که سابقه و شبکه همکاری آن‌ها بر اساس همکاری‌هایی که قبلاً با یکدیگر داشته‌اند موجود است. معیارهای چرخه‌ای و مهارت و ظرفیت و سفارش موجود و موردنیاز تأمین‌کنندگان برای هر ماژول و سفارش نیز مشخص است.

هدف طراحی شبکه تأمین‌کنندگان قابل‌اطمینان چرخه‌ای، برای واگذاری ماژول‌های محصولات است. مدل ریاضی پیشنهادی، غیرخطی با اهداف متناقض است که تعداد تأمین‌کننده برای هر ماژول در تیم اصلی توسط شرکت اصلی قابل‌تعیین است و برای هریک از تأمین‌کنندگان اصلی، حداقل یک و حداکثر دو پشتیبان محاسبه می‌شود و تیمی از تأمین‌کنندگان به‌عنوان اصلی و پشتیبان می‌باشند.

در نظر گرفتن هم‌زمان معماری محصول و شبکه تأمین کنندگان در قالب تیمی از تأمین‌کنندگان مطمئن با اهداف زیر می‌باشد: ۱) تشکیل شبکه تأمین‌کنندگان قابل‌اعتماد با بیشترین سابقه همکاری قبلی، ۲) کمینه کردن مجموع کل هزینه ماژول‌ها، ۳) بیشترین قابلیت اشتراک دانش، و ۴) تشکیل شبکه تأمین‌کنندگان با بیشترین سطح معیارهای چرخه‌ای.

مقاله‌ای در مرور ادبیات پیدا نشد که هم‌زمان در مدل ریاضی ارتباطات ماژول‌های محصول، معیارهای چرخه‌ای، قابلیت اطمینان، هزینه و نیز شبکه همکاری و اشتراک دانش را در نظر بگیرد. همچنین اکثر آن‌ها از مدل تک‌هدفه و حل دقیق استفاده کرده‌اند، درحالی‌که در تحقیق حاضر به هر دو نوع ارتباطات بین تأمین‌کنندگان و ماژول‌ها پرداخته شده است و معیارهای چرخه‌ای، مهارت‌ها، ظرفیت، تخصیص سفارش، و تیم پشتیبان هم‌زمان در مدل در نظر گرفته شده است. این مدل چندهدفه با روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده با استفاده از نرم‌افزار گمز حل دقیق گردید و محدودیت‌ها و مفروضات مدل برآورد گردیده است. نوآوری اصلی این مقاله مدل‌سازی و در نظر گرفتن هم‌زمان، معیارهای چرخه‌ای، شبکه همکاری قابل‌اعتماد، اشتراک دانش و هزینه برای تخصیص ماژول و سفارش به تأمین‌کننده، ظرفیت، تخصیص سفارش، در یک مدل ریاضی چندهدفه می باشد. برای دستیابی به اهداف بالا، پژوهش حاضر به سؤالات زیر می‌پردازد:

- چگونه می‌توان انتخاب تأمین‌کننده دایره‌ای قابل‌اعتماد و تخصیص سفارش را به‌طور هم‌زمان در طراحی شبکه تأمین‌کننده ادغام کرد؟
- چه مدلی می‌تواند معیارهای دایره‌ای، شبکه همکاری قابل‌اعتماد، تخصیص سفارش، هزینه، اشتراک دانش، تخصیص ماژول، ظرفیت و تأمین‌کنندگان پشتیبان را به‌طور هم‌زمان در نظر بگیرد؟
- یک روش مؤثر برای اعتبارسنجی کاربردی بودن مدل چیست؟

پس از مقدمه، پیشینه تحقیق ارائه خواهد شد. بخش سوم روش‌شناسی تحقیق و بخش چهارم مدل پیشنهادی را توصیف می کند. بخش پنجم مثال عددی، مطالعه موردی، نتایج، راه‌حل ارائه می‌دهد و بخش آخر با نتیجه‌گیری و پیشنهادها خاتمه می‌یابد.

۲- پیشینه تحقیق و مرور مبانی نظری

در این بخش به بررسی و مرور مهم‌ترین تحقیق‌های مرتبط با موضوع این مقاله پرداخته شده است؛ لذا بر اساس هدف پژوهش، مدل پایه برای توسعه، برای شبکه همکاری تأمین‌کنندگان و تیم‌سازی قابل‌اعتماد، مقاله‌های [۱۸ و ۱۹] و برای اشتراک دانش مقاله [۱۷] و برای معیارهای چرخه‌ای مقاله [۱۶] می‌باشد. در

سال ۲۰۱۷ اولین تحقیق در خصوص تشکیل تیم قابل‌اطمینان با در نظر گرفتن شبکه همکاری و مهارت خبرگان در قالب مدل RTFP[1] توسط فتحیان و همکاران ارائه گردید. آن‌ها با توسعه مدل بهینه‌سازی ریاضی جدید با عنوان مسئله تشکیل تیم قابل‌اعتماد و اطمینان به تشکیل تیمی معتبر از متخصصان که تعداد معینی مهارت و بهترین همکاری را با یکدیگر دارند، پرداختند. مدل MILP[2] آن‌ها تک‌هدفه با سه فاکتور اصلی ۱) مهارت‌های متخصص، ۲) شبکه همکاری متخصص و ۳) قابلیت اعتماد و اطمینان متخصص شامل ۱۰ متغیر و ۱۶ محدودیت در ۳ نوع ارتباطات، واگذاری و مهارت‌ها بود که با دو مثال موردی و نرم‌افزار گمز به حل مدل پرداختند. احتمال باقی ماندن کارشناسان مطمئن در تیم برابر با ۱، و در مورد کارشناسان غیرقابل‌اعتماد احتمال برابر با Q در تابع هدف به‌عنوان ضریب در نظر گرفتند. نتایج تجربی تائید کرد که مدل پیشنهادی می تواند به‌طور مؤثر تیم تشکیل دهد. احتمال مساوی را برای هر متخصص غیرقابل‌اعتماد محدودیت مدل آن‌ها بود. از دیگر محدودیت مطالعه آن‌ها عدم در نظر گرفتن هزینه و نیز تک‌هدفه بودن آن می‌باشد [۱۸]

سجادیان و همکاران (۲۰۲۱) مدل بهینه‌سازی دوهدفه غیرخطی، برای انطباق شبکه تأمین کنندگان و معماری محصول برای انتخاب تأمین‌کنندگان، در ابتدای طراحی برای انتساب ماژول‌های محصولات ماژولار با کمترین هزینه تعاملات ارائه دادند، مدل آن‌ها مهارت، سابقه همکاری و ارتباطات بین تأمین‌کنندگان و ظرفیت و تخصیص سفارش را در نظر گرفت. همچنین ارتباط درون و بین ماژول‌ها را با خوشه‌بندی ماتریس ساختار طراحی[3] در نظر گرفت و در مراحل اولیه طراحی، هزینه تعاملات را به‌صورت تابع درجه‌دو تخمین زدند [۱۹]. آن‌ها معیارهای چرخه‌ای و اشتراک دانش را در نظر نگرفتند. حسینی و اخوان [۱۷] یک مدل برنامه‌ریزی صفر و یک‌فازی با سه هدف اشتراک‌گذاری دانش ، هزینه‌های پروژه و تعادل حجم کار برای تیم سازی در پروژه‌های پیچیده مهندسی ارائه کردند و آن را با فراابتکاری حل کردند. محدودیت مطالعه آن‌ها عدم در نظر گرفتن معیارهای دیگر همچون چرخه‌ای و ظرفیت و تخصیص سفارش بود.

انتخاب تأمین‌کننده (SS) و تخصیص سفارش (OA)[4] تصمیمات استراتژیک هستند که تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد شرکت دارند. اما، تخصیص سفارش اغلب نادیده گرفته می‌شود، زیرا از انتخاب تأمین‌کننده ناشی می‌شود و مکمل در نظر گرفته می‌شود توجه کمی به ماهیت و پیچیدگی خاص آن شده است [۲۰]. گووینـدان و همکاران (۲۰۱۵) کاربردهای مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره MCDMرا که برای حل مسئله انتخاب تأمین‌کننده سبز استفاده می‌شود، ارائه داد. بررسی ادبیات مرتبط نشان می‌دهد که بسیاری از محققین از روش‌های MCDM برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان [۲۱ و ۲۲] و مدل‌های ریاضی برای مسائل تخصیص سفارش [۹ و ۵۸] استفاده نموده‌اند.

اریکستاد (۲۰۱۹) معماری محصول را به‌عنوان عناصر شناسایی‌شده یک محصول و روابط آن‌ها تعریف کرد [۲۳]. اپینگر و برونینگ (۲۰۱۲) آن را آرایشی از تعاملات بین اجزاء برای انجام یک عملکرد خاص تعریف نمودند. دو نوع اصلی معماری نشان‌دهنده درجه یکپارچه بودن یا مدولار بودن محصول است. این مقاله متمرکز بر نوع معماری مدولار است. معماری محصول با تعیین رابط‌های بین ماژول‌هایی که به تأمین‌کنندگان اختصاص می یابد، بر پیکربندی زنجیره تأمین تأثیر می گذارد. نمایش این تعاملات می‌تواند با استفاده از ابزارهایی چون ماتریس ساختار طراحی تسهیل شود. استوارد (۱۹۸۱) [۲۴] DSM را به‌عنوان ابزاری برای مدل‌سازی پروژه معرفی کرد که روابطی از قبیل اجزا زیرسیستم‌ها را به‌صورت ماتریسی ارائه و در نتیجه معماری محصول را ترسیم می‌کند. در خصوص ارتباط بین تأمین‌کنندگان[5] می‌توان به پژوهش‌های [۶، ۲۵ و ۲۶] اشاره کرد. کریم میان و همکاران (۲۰۱۸) به انتخاب تأمین‌کننده با در نظر گرفتن ارتباطات میان تأمین‌کنندگان با ریسک اختلال برای محصول پیچیده پرداختند، آن‌ها یک مدل تک‌هدفه برای حداقل کردن هزینه‌های خریدار و چهار دسته محدودیت کیفیت، تقاضا و ظرفیت و محدودیت منطقی ارتباطات را در نظر گرفتند و برای مثال شبیه‌سازی‌شده با پنج تأمین‌کننده و ۱۰۰ تقاضا با داده‌های قطعی حل نمودند [۶]. برخی از مطالعات نیز به انتخاب تأمین کننده پشتیبان[6] پرداخته‌اند. ترابی (۲۰۱۵) یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای مختلط احتمالی دوهدفه را برای انتخاب تأمین‌کننده و مسئله تخصیص سفارش برای ساخت انعطاف‌پذیر ارائه می دهد [۹]. رضایی و همکاران (۲۰۲۰) برای بیان عدم اطمینان از مدل برنامه‌نویسی تصادفی دومرحله‌ای استفاده نمودند [۲۷].

برخی از پژوهشگران به موضوع تأمین‌کننده قابل‌اطمینان[7] در زنجیره تأمین به‌ویژه در قالب مدیریت ریسک‌های اختلال زنجیره تأمین پرداخته‌اند [۱۱-۱۴]. زرتالاب و همکاران (۲۰۱۹) یک مدل ریاضی را برای بهینه‌سازی قابلیت اطمینان سیستم با روش تخصیص افزونگی چندگانه معروف به مگا سیستم پیشنهاد دادند. نوبری و همکاران (۲۰۱۸) یک مدل چندهدفه را برای یک مسئله برنامه‌ریزی تولید کل (APP) چندمحصولی در یک زنجیره تأمین

[1] RTFP: Reliable team formation problem
[2] MILP: Mixed integer linear programming
[3] DSM:Design Structure Matrix
[4] SS&OA
[5] Relationship Between Suupliers
[6] Backup Supplier Selection
[7] Reliable supplier

ارائه داد. آن‌ها تأمین‌کننده قابل‌اطمینان را در مدل به‌صورت پارامتر با عنوان ماکزیمم زمان تحویل قابل‌پذیرش برای یک تسهیل قابل‌اطمینان در نظر گرفتند [۱۲].

۲-۱- زنجیره تأمین چرخه‌ای و انتخاب تأمین‌کننده چرخه‌ای[1]

انتخاب تأمین‌کننده پایدار، در واقع همان مسئله انتخاب تأمین‌کننده کلاسیک است، با این تفاوت که ابعاد سه‌گانه پایداری (اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی) در انتخاب تأمین‌کننده پایدار در نظر گرفته می‌شود. در سال‌های اخیر در کنار معیارهای سه‌گانه پایداری زنجیره تأمین, معیارهای چرخه‌ای نیز در نظر گرفته می‌شود. اگرچه مدیریت زنجیره تأمین چرخه‌ای CSCM یک موضوع تحقیقاتی نوظهور است، چندین بررسی ادبیات تاکنون انجام شده است [۲۸-۳۱]. انتخاب تأمین‌کننده چرخه‌ای فرآیند انتخاب تأمین کنندگان در یک زنجیره تأمین حلقه بسته است [۳۲]. اما مفروضات چرخه‌ای، با ترکیب این دو روش، منجر به انتخاب تأمین‌کننده چرخه‌ای و تخصیص سفارش CSSOA می‌شود. در این زمینه، تنها چند تحقیق انجام شده است [۱۵، ۱۶، ۳۲-۳۴]. ازنظر گویندان و همکاران (۲۰۲۰) انتخاب تأمین‌کننده در شبکه زنجیره تأمین چرخه‌ای CSC موضوع بسیار مهمی است که می‌تواند تأثیر زیادی در کاهش هزینه‌های زنجیره و تخریب محیطی داشته باشد [۱۶]؛ بنابراین، مواد خام قابل‌استفاده مجدد و تهیه مواد سازگار با محیط‌زیست منجر به کاهش ضایعات و استفاده از مواد خام بسته به انتخاب تأمین‌کننده چرخه‌ای مناسب می‌شود [۱۶]. انتخاب تأمین‌کننده چرخه‌ای (CSS) در مرور ادبیات ما محدود است. بررسی ادبیات ما نشان می‌دهد که فقط هشت مطالعه روی این مسئله متمرکزشده‌اند و دو مقاله از مدل ریاضی برای انتخاب تأمین‌کننده چرخه‌ای استفاده کردند. [۱۵ و ۱۶]. گویندان و همکاران (۲۰۲۰) یک رویکرد ترکیبی دومرحله‌ای را برای انجام انتخاب تأمین‌کننده چرخه‌ای و تخصیص سفارش در یک زنجیره تأمین چرخه‌ای حلقه بسته[2] با استفاده از روش‌های MCDM و MOMILP با به حداقل رساندن هزینه‌ها و کمبودهای شبکه پیشنهاد کردند. او هفت معیار چرخه‌ای را در مدل خود در نظر گرفت. تأمین‌کنندگان شرکت موردمطالعه با استفاده از سه معیار چرخه‌ای، کیفیت و تحویل به‌موقع از طریق رویکرد یکپارچه FDEMATEL و FANP موردارزیابی قرار گرفتند [۱۶]. نصر و همکاران (۲۰۲۱) یک چارچوب ترکیبی برای بهینه‌سازی یک شبکه زنجیره تأمین معکوس پایدار با در نظر گرفتن انتخاب تأمین‌کننده چرخه‌ای و تخصیص سفارش[3] در حضور عدم قطعیت با سه معیار چرخه‌ای پیشنهاد کردند. او یک رویکرد برنامه‌ریزی هدف فازی جدید برای تبدیل MOMILP به یک مدل هدف واحد پیشنهاد کرد و یک مطالعه موردی در صنعت تولید و توزیع پوشاک ارائه کرد [۱۵]. در مدل پیشنهادی، مانند مقاله گویندان [۳۵] حداکثر از هفت معیار (آلودگی هوا، استانداردهای زیست‌محیطی، مواد اولیه سازگار با محیط‌زیست، طراحی محیط‌زیست، بسته‌بندی سازگار با محیط‌زیست، حمل‌ونقل دوستدار محیط‌زیست و فناوری پاک) برای معیارهای چرخه‌ای استفاده شده است. جدول (۱) دسته‌بندی معیارهای چرخه‌ای را از ۵ مطالعه اخیر نشان می‌دهد.

جدول (۱). دسته‌بندی معیارهای چرخه‌ای

زیرمعیار		نویسنده	
آلودگی هوا	۱	گویندان ۲۰۱۹	معیارهای چرخه‌ای (دایره‌ای)
استانداردهای زیست‌محیطی	۲		
مواد اولیه سازگار با محیط‌زیست	۳		
طراحی محیط‌زیست	۴		
بسته‌بندی سازگار با محیط‌زیست	۵		
حمل‌ونقل دوستدار محیط‌زیست	۶		
فناوری پاک	۷		
آلودگی هوا ناشی از تولید و بازیافت محصولات	۱	کانن ۲۰۲۰	
استفاده از مواد اولیه سازگار با محیط‌زیست و قابل بازیافت	۲		
رعایت استانداردها و مقررات زیست‌محیطی در فرآیند تولید و بازیافت محصولات	۳		
استفاده از فناوری‌های مناسب و پاک در تولید و بازیافت محصولات	۴		
استفاده از مواد قابل بازیافت در بسته‌بندی محصولات	۵		
انتشار گازهای گلخانه‌ای از فعالیت‌های تولید و بازیافت	۱	مینا ۲۰۲۱	
مقررات و استانداردهای زیست‌محیطی	۲		
بسته‌بندی سبز	۳		
مواد اولیه سازگار با محیط‌زیست و قابل بازیافت	۴		
فناوری پاک	۵		
استفاده از مواد اولیه سازگار با محیط‌زیست و قابل بازیافت	۱	نصر ۲۰۲۱	
استفاده از مواد قابل بازیافت در بسته‌بندی محصولات	۲		
طراحی محصولات برای استفاده مجدد	۳		
توجه به مصرف انرژی در محصولات تولیدی و بازیافتی	۱	علوی ۲۰۲۱	
توجه به آلودگی هوا در محصولات تولیدی و بازیافتی	۲		
تولید محصولات با استفاده از مواد اولیه قابل بازیافت	۳		

[1] CSC&CSS:Circular supply chain and circular supplier selection
[2] CLSC
[3] CSS&OA

۴	استفاده از فناوری پاک و سبز در تولید و بازیافت محصولات		
۵	استفاده از مواد سازگار با محیط‌زیست برای بسته‌بندی محصولات		
۶	رعایت مقررات و استانداردهای زیست‌محیطی		
۷	مدیریت پسماند		
۸	سیستم مدیریت زیست‌محیطی		
۹	مدیریت محصولات برگشتی		
۱۰	لجستیک معکوس		

در پژوهش حاضر حداکثر ۷ معیار چرخه‌ای مطالعه [۳۵] لحاظ گردیده است.

۲-۲- اشتراک دانش

حسینی و اخوان [۱۷] یک مدل برنامه‌ریزی صفر و یک فازی سه‌هدفه برگرفته از مدل [۳۶] اشتراک دانش MOA برای تیم سازی در پروژه‌های پیچیده مهندسی در صنایع کشتی‌سازی ارائه کردند و آن را با NSGA-II حل کردند. در مدل آن‌ها به اشتراک‌گذاری دانش بین افراد به حداکثر رسید و هزینه‌های پروژه و تعادل حجم کار در بین کارکنان نیز بهینه گردید. علاوه بر این، طبق چارچوب توانایی، فرصت و انگیزه جذب و اشتراک دانش[1] ، اعضای تیم پروژه توانایی‌ها و انگیزه‌های اشتراک دانش متفاوتی خواهند داشت که ممکن است بر اشتراک دانش تأثیر بگذارد .در میان آن‌ها بااین‌حال، علیرغم تمایل و توانایی صاحب دانش برای به اشتراک‌گذاری دانش و انگیزه و توانایی گیرنده دانش برای جذب دانش، اشتراک دانش تنها در صورتی رخ می‌دهد که هر دو طرف زمان کافی برای تبادل دانش داشته باشند [۳۶].

در طول یک پروژه، تیم و تأمین‌کنندگان می‌توانند سطح تخصص خود را از طریق انجام وظایف محوله و به اشتراک‌گذاری دانش با دیگر تأمین‌کنندگان افزایش دهند. همچنین تأمین‌کنندگان باتجربه و ماهر می‌توانند دانش و تخصص ارزشمند خود را در اختیار تأمین‌کنندگان جوان و کم‌تجربه قرار دهند. افزایش سطح تخصص اعضای تیم می‌تواند منجر به دوباره‌کاری کمتر، احتمال شکست کمتر، انجام سریع‌تر وظایف و به‌طورکلی هزینه کمتر و موفقیت شود. با توجه به تفاوت در توانایی‌های اشتراک دانش کاندیداهای تیم و به‌تبع آن تأثیرات متفاوت آن‌ها بر عملکرد کل تیم از یک‌سو و محدودیت‌ها و الزامات ، از سوی دیگر، موضوع ایجاد یک تیم اثربخش و برنده توسط تمرکز بر اشتراک دانش موضوعی پیچیده خواهد بود .بنابراین در این مقاله از رویکرد مدل‌سازی ریاضی استفاده‌شده است که روشی مناسب برای در نظر گرفتن روابط بین عوامل مؤثر بر اثربخشی تأمین‌کنندگان است. از سوی دیگر، برای تحقق فرآیند اشتراک دانش، طرف مقابل در فرآیند اشتراک دانش (یعنی گیرنده دانش) باید توانایی جذب دانش منتقل‌شده را داشته باشد .بر اساس چارچوبMOA ، توانایی گیرنده دانش برای جذب دانش در مدل پیشنهادی به‌صورت ضرب‌در توانایی جذب دانش، تمایل و فرصت تعریف‌شده است [۳۶]. بااین‌وجود، با توجه به توانایی‌های متفاوت صاحب/دریافت‌کننده دانش برای به اشتراک‌گذاری/جذب دانش، قابلیت اشتراک دانش جمعی برابر با حداقل توانایی اشتراک دانش صاحب دانش و توانایی جذب دانش گیرنده دانش تعریف می‌شود و به‌صورت معادله ۱محاسبه می‌شود .همچنین میزان دانش کسب‌شده توسط یکی از تأمین‌کنندگان تیم درنتیجه انجام وظایف محوله به سطح تخصص اولیه وی و ضریب افزایش سطح تخصص در هر پروژه (L) بستگی دارد. بنابراین، میزان دانش به‌دست‌آمده در یک پروژه برابر است با ضرب سطح تخصص اولیه یک فرد در ضریب افزایش سطح تخصص در هر پروژه. ازاین‌رو، اشتراک دانش بین یک تأمین‌کننده تیم و هم‌تیمی آن در بخش عملکردی با ضرب دانش به‌دست‌آمده توسط اعضای تیم پروژه در یک پروژه در توانایی جمعی اشتراک دانش بین آن‌ها محاسبه می‌شود و به‌صورت معادله ۱ نوشته می‌شود.

$$KK_{pij} = Min\{(Bij * Vij * Wij) and\ (Aip * Uip * Wip)\}; j \neq p \quad \text{(معادله ۱)}$$

در بخش مدل‌سازی اشتراک دانش با استفاده از معادله ۱ به‌عنوان یک هدف مدل‌سازی می‌گردد.

۲-۳- رویکردهای مدل‌سازی ریاضی هم‌زمان زنجیره تأمین و معماری محصول[2]

نپال و همکاران (۲۰۱۲) برای به حداقل رساندن هزینه زنجیره تأمین و به حداکثر رساندن درجه سازگاری زنجیره تأمین، یک روش بهینه‌سازی چندهدفه را پیشنهاد داد تا بتواند استراتژی معماری محصول را با طراحی زنجیره تأمین در مراحل اولیه توسعه محصول مطابقت دهد[۱]. محققان دیگر زنجیره‌های تأمین را در سطح کلی در نظر گرفته‌اند. به‌عنوان‌مثال، المرغی و محمودی (۲۰۰۹) یک ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری خطی عدد صحیح را برای تعیین موقعیت بهینه شبکه‌های زنجیره تأمین کلی ارائه دادند. [۳۷]. جدول (۲) دسته‌بندی و مقایسه پیشینه تحقیق و مطالعات مرتبط و جایگاه پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

[1] MOA

[2] 2DCE: 2 dimension concurrent engineering

جدول (۲). دسته‌بندی و مقایسه مقالات مرتبط با مدل پیشنهادی

نویسنده	مدل ریاضی	حوزه	معیار چرخه‌ای (دایره‌ای)	هزینه	تأمین کنندگان پشتیبان	قابلیت اطمینان	روابط بین تأمین کنندگان	تخصیص سفارش	تابع هدف		روش حل			ابعاد		محیط مسئله	
									تک‌هدفه	چندهدفه	دقیق	غیردقیق		معماری محصول	زنجیره تأمین	قطعی	غیرقطعی
												ابتکاری	فرابتکاری				
المرغی و محمودی (۲۰۰۹) [36]	✓	محصول و زنجیره تأمین		✓					✓		✓			✓	✓	✓	
نپال و همکاران (۲۰۱۲)	✓	محصول و زنجیره تأمین		✓						✓	✓			✓	✓		✓
فتحیان و همکاران (۲۰۱۷) [18]	✓	تیم‌سازی			✓	✓	✓		✓		✓			✓	✓	✓	
حسینی و اخوان (۲۰۱۷) [17]	✓	محصول - اشتراک دانش		✓						✓			✓		✓		✓
گویندان و همکاران (۲۰۲۰) [17]	✓	c-clsc	✓	✓				✓		✓			✓		✓	✓	
نصر و همکاران (۲۰۲۱)	✓	css&oa	✓	✓				✓		✓			✓		✓		✓
سجادیان و همکاران (۲۰۲۱) [۱۹]	✓	محصول و زنجیره تأمین		✓	✓		✓	✓		✓	✓			✓	✓	✓	
تحقیق حاضر	✓	محصول و زنجیره تأمین	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓			✓	✓	✓	

از جدول (۲) می‌توان دریافت که با توجه به اینکه رویکردهای ترکیبی در مطالعات پیشین استفاده شده است، تنها دو مطالعه به قابلیت اطمینان و دو مطالعه به تأمین‌کنندگان چرخه‌ای و دو مطالعه به پشتیبان پرداخته است، همچنین تنها یک مقاله هم‌زمان به روابط بین تأمین‌کنندگان و شبکه همکاری و یک مقاله به اشتراک دانش پرداخته است؛ همچنین هیچ مقاله‌ای هم‌زمان اشتراک دانش، هزینه، معیارهای چرخه‌ای و شبکه همکاری قابل‌اعتماد را در نظر نگرفته است. اکثراً از روش حل دقیق استفاده کرده‌اند؛ لذا هرچند در مسائل دنیای واقعی این موردنیاز است ولی در مطالعات موردتوجه قرار نگرفته و به‌عنوان یک شکاف تحقیقاتی مطرح است.

۳- روش‌شناسی، تعریف مسئله و مراحل تحقیق

این مطالعه کیفی-کمی است، کیفی به دلیل استفاده از نظرات خبرگان و پژوهش‌های قبلی برای جمع‌آوری داده‌ها، و از نوع کمّی به علت استفاده از مدل ریاضی است. در این تحقیق روش تحقیق از نوع تحلیلی است. هدف، ارائهٔ مدل ریاضی برای انتخاب تأمین‌کنندگان قابل‌اطمینان چرخه‌ای و تخصیص سفارش به ماژول‌ها برای طراحی شبکه تأمین‌کنندگان است؛ لذا پرسش اصلی تحقیق این است که چگونه با استفاده از مدل ریاضی با اهداف متناقض برای محصول ماژولار، هم‌زمان شبکه تأمین‌کنندگان قابل‌اطمینان و مطمئن و چرخه‌ای مناسب را با در نظر گرفتن کلیه معیارها و قابلیت‌ها و مفروضات اشاره‌شده طراحی نموده ماژول‌ها را به آن‌ها تخصیص دهیم. به این منظور، ابتدا شاخص‌ها، معیارهای چرخه‌ای، متغیرها و پارامترهای مؤثر، قابلیت‌ها و شایستگی‌ها، تعیین و مدل انتخاب و پیاده‌سازی می‌گردد. برای جمع‌آوری اطلاعات درباره ابعاد مدل، مطالعات به‌صورت نظری و میدانی، انجام و اطلاعات از و خبرگان و کارشناسان و از گزارش‌های رسمی و مستندات موجود شرکت صنعتی جمع‌آوری شده است. برای حل از نرم‌افزارهای گمز و برای خوشه‌بندی DSM از وسویوور و اکسل استفاده‌شده است.

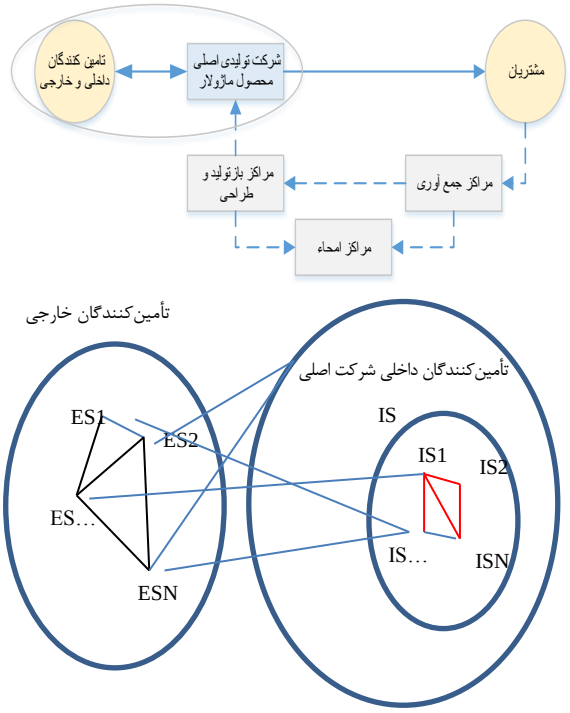
با توجه به تعریف مسئله در مقدمه و مراحل شکل (۱)، ابتدا یک محصول ماژولار انتخاب گردیده که تعداد ماژول‌ها با خوشه‌بندی مشخص است. هدف طراحی شبکه تأمین‌کنندگان قابل‌اطمینان چرخه‌ای، برای واگذاری ماژول‌های محصولات با تمام محدودیت‌های اشاره شده می‌باشد. در ادامه پس از خوشه‌بندی ماتریس ساختار طراحی برای تعیین تعداد ماژول‌ها، پارامترها و متغیرها و معیارها برای محصول و زنجیره تأمین تعیین گردیده و پس از فرمول‌بندی و حل مدل، مدل اعتبار سنجی گردیده و نتایج و تیم‌ها و تخصیص سفارش بهینه تعیین می‌گردد.

در شکل (۱) مراحل تحقیق ارائه شده است.

شکل (۱). مراحل تحقیق

برای درک بهتر مسئله موردمطالعه، ساختار شبکه زنجیره تأمین پیشنهادی به‌صورت شماتیک در شکل ۲ نشان داده‌شده است.

انتخاب تأمین‌کننده چرخه‌ای در زنجیره تأمین حلقه بسته انجام می‌گیرد ولی تمرکز ما در این مقاله تنها به طراحی شبکه تأمین‌کنندگان چرخه‌ای است که در شکل با یک بیضی نمایش داده‌شده است.



شکل (۲). ساختار شبکه زنجیره تأمین پیشنهادی

۴- مدل ریاضی پیشنهادی

برای معیارهای چرخه‌ای مقاله [۱۶]، برای شبکه همکاری تأمین‌کنندگان و تیم‌سازی قابل‌اعتماد، مدل پایه از مقاله [۱۸ و ۱۹] و برای اشتراک دانش مقاله [۱۷] می‌باشد.

۴-۱- پیش‌فرض‌های مدل

مفروضات در نظر گرفتن برخی مسائل است که در عین جامع بودن، مدل کاربردی هم باشد. مجموعه تأمین‌کنندگان از اجتماع تأمین‌کنندگان داخلی شرکت (تولیدکننده) اصلی و تأمین‌کنندگان خارجی می‌باشند. I ES ∪ IS=در تیم اصلی تعداد تأمین‌کنندگان موردنیاز برای هر ماژول توسط Np در نظر گرفته شده است که تعداد توسط شرکت اصلی قابل انتخاب است، ولی برای تعداد تأمین‌کنندگان پشتیبان حداقل یک و حداکثر دو تأمین‌کننده پشتیبان در نظر گرفته شده است. اعضای تیم به دو دسته اصلی M و پشتیبان B تقسیم می‌شوند که با متغیرهای YB YM تعریف می‌شوند. فرض می‌شود تعداد ماژول‌ها P (زیرسیستم‌ها)ی بهینه قبلاً توسط خوشه‌بندی ماتریس ساختار طراحی مشخص گردیده است. هر تأمین‌کننده می‌تواند دارای یک یا چند مهارت (شایستگی، قابلیت، دانش) و معیار چرخه‌ای مشخص باشد. هر ماژول را بسته به ظرفیت تأمین‌کننده می‌توان به چند تأمین‌کننده تخصیص داد. هر ماژول در آن واحد تنها به یک تأمین‌کننده چه در تیم اصلی و چه در تیم پشتیبان تخصیص می‌یابد، هرچند می‌توان به یک تأمین‌کننده چند ماژول واگذار کرد. میزان سابقه همکاری میان دو تأمین کننده به‌صورت وزن همکاری در نظر گرفته می‌شود به‌گونه‌ای که هرچه میزان سابقه همکاری میان دو تأمین‌کننده بیشتر باشد وزن ارتباط نیز بیشتر می‌باشد. برای هر تأمین‌کننده مهارت‌های موجود و موردنیاز هر ماژول بایستی از قبل مشخص باشد. سفارش موردنیاز هر ماژول از قبل مشخص می‌باشددر تیم اصلی و پشتیبان ، هر دو تأمین کنندگان قابل‌اعتماد و غیرقابل‌اعتماد می‌توانند منصوب شوند. با توجه به نوع تأمین‌کننده (قابل‌اعتماد یا غیرقابل‌اعتماد) و نوع تأمین‌کنندگان تیم (اصلی یا پشتیبان)، سه نوع رابطه وجود دارد. سه متغیر باینری را می‌توان برای روابط در نظر گرفت. احتمال باقی ماندن تأمین‌کنندگان قابل‌اطمینان و مطمئن در تیم برابر با ۱ است و در مورد تأمین کنندگان غیر قابل‌اطمینان و اعتماد، احتمال برابر Q است؛ لذا، سه نوع رابطه قابل‌اعتماد- قابل‌اعتماد، قابل‌اعتماد- غیرقابل‌اعتماد، غیرقابل‌اعتماد- غیرقابل‌اعتماد در مدل حاضر وجود دارد. نمادگذاری مدل (اندیس‌ها و مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرها) برای فرموله کردن مدل در ادامه معرفی شده است.

نمادگذاری مدل ریاضی

اندیس‌ها:

تعریف		عنوان
مجموعه تأمین‌کنندگان	$i \in \{1, 2,.., I\} = IS \cup ES$	i
مجموعه تأمین‌کنندگان داخلی	$is \in \{1, 2,.., IS\}$	is
مجموعه تأمین‌کنندگان خارجی	$es \in \{1, 2,.., ES\}$	es
مجموعه ماژول‌های محصول	$m \in \{1, 2,.., P\}$	p
مجموعه مهارت‌ها	$s \in \{1, 2,.., S\}$	s
مجموعه معیارهای دایره‌ای- چرخه‌ای	$cr \in \{1, 2, , CR\}$	cr

پارامترها:

تعریف		عنوان
ماتریس ارتباطات بین تأمین‌کنندگان i و j	عدد طبیعی	W_{iJ}
تعداد تأمین‌کنندگان تیم اصلی برای هر ماژول p	عدد طبیعی	N_p
سفارش موردنیاز مشتری c برای ماژول p	عدد طبیعی	O_{mc}
ظرفیت موجود هر تأمین‌کننده i برای ماژول m	صفر و یک	CAP_{pi}
هزینه پیشنهادی هر تأمین‌کننده برای هر ماژول m	عدد صحیح بزرگ‌تر از صفر	CP_{pi}
بودجه کل	عدد صحیح بزرگ‌تر از صفر	B
حداقل تعداد مهارت برای تأمین‌کنندگان اصلی	عدد طبیعی	KS_s
حداقل تعداد معیار چرخه‌ای برای تأمین‌کنندگان اصلی	عدد طبیعی	KKT_t
اگر تأمین‌کننده iدارای مهارت موجود s است یک وگرنه صفر	صفر و یک	SA_{si}
مهارت s موردنیاز برای ماژول m		PS_{ps}
اگر تأمین‌کننده iدارای سطح مهارت موجود sاست عددی بین ۱ تا ۱۰ وگرنه صفر	عددی بین ۱ تا ۱۰	$SA2_{si}$
[fii	$0 \le Qi \le 1$	Q_i
If $0<Qi\le1$ If Qi =0	1 0	Sign(Qi)
ظرفیت (تقاضا یا سفارش) موردنیاز مشتری c برای ماژولm	Positive integer	Opc
ظرفیت موجود هر تأمین‌کننده i برای ماژول m	Positive	CAPpi
احتمال قابلیت اطمینان تأمین‌کننده i		Qi
معیارهای دایره‌ای cr موردنیاز برای ماژولm	Binary	MCp,cr {1 0
اگر تأمین‌کننده من معیارهای دایره‌ای موجود را داشته باشد.	Binary	CIcr,i {1 0

افزایش ضریب سطح تخصص درنتیجه انجام پست تخصصی	$0<L<5$	L
قابلیت اشتراک دانش جمعی افراد j و i از پست p	Positive	KKpij
سطح تخصص اولیه فرد i از پست p	Positive integer	Epi
توانایی جذب دانش تأمین‌کنندگان i از پست p	$0< Aij <1$	Aij
توانایی به اشتراک‌گذاری دانش تأمین‌کنندگان i از پست p	$0< Bij <1$	Bij
تمایل به اشتراک دانش تأمین‌کنندگان i از پست p	$0< Vij <1$	Vij
انگیزه تسهیم دانش تأمین‌کنندگان i از پست p	$0< Uij <1$	Uij
فرصت تسهیم دانش/جذب تأمین‌کنندگان i از پست p	$0< Wij <1$	Wij

متغیرهای تصمیم :

تعریف		عنوان
اگر تأمین‌کننده i برای شبکه تأمین‌کنندگان اصلی و یا پشتیبان انتخاب شود برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است.(مجموع تأمین‌کنندگان انتخاب شده اصلی و پشتیبان)	Yi = YMpi+ YBpi	Y_i
اگر تأمین‌کننده اصلی i برای ماژول m انتخاب شود برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است.	صفر و یک	YM_{pi}
اگر تأمین‌کننده پشتیبان i برای ماژول m انتخاب شود برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است.	صفر و یک	YB_{pi}
اگر ارتباطی بین تأمین‌کنندگان اصلی i و j وجود داشته باشد برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است.	صفر و یک	RMM_{iJ}
اگر ارتباطی بین تأمین‌کنندگان اصلی iو پشتیبان jوجود داشته باشد برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است.	صفر و یک	RMB_{iJ}
اگر ارتباطی بین تأمین کنندگان پشتیبان i و j وجود داشته باشد برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است.	صفر و یک	RBB_{Ij}
چند برابر ظرفیت موردنیاز تأمین‌کننده اصلی i برای هر ماژول pتا به‌عنوان تأمین‌کننده اصلی انتخاب گردد.	مثبت	X_{pi}
AYMpi مقدار سفارش ماژول p تخصیص‌یافته به تأمین‌کننده اصلی i را نشان می‌دهد.	Positive	AYMpi
AYBmi مقدار سفارش ماژول p تخصیص‌یافته به تأمین‌کننده پشتیبان i را نشان می‌دهد	Positive	AYBpi

۴-۲- فرمول‌بندی مدل

مدل پیشنهادی ،انتخاب تأمین‌کنندگان قابل‌اطمینان چرخه‌ای و تخصیص سفارش[1] RCSS&OA نامیده می‌شود.

این بخش، مدل مورداستفاده در حل مسائل تیم سازی را پیشنهاد می‌کند. مدل پیشنهادی شامل چهار هدف متناقض هست. به‌عنوان‌مثال بین تابع هدف ۲ و ۳ تناقض وجود دارد به این معنی که هرچه تأمین‌کننده دارای سطح چرخه‌ای بالاتر باشد، هزینه آن نیز بالاتر است، همچنین بین تابع هدف ۲ و ۴ به این معنی که هر چه اشتراک دانش بالاتر باشد هزینه بیشتر است.

الف. توابع هدف

$$Max\ Z_1 = \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}(G_{ij} * (RMM_{ij} + RMB_{ij} + RBB_{ij}) \quad (۱)$$

$$Min\ Z_2 = \sum_{i\in I}\sum_{p\in P(}C_{pi} * YM_{pi}) \quad (۲)$$

$$Max\ Z_3 = \sum_{i\in I}\sum_{p\in P}\sum_{cr\in CR}(CI_{cr\,i} * YM_{pi}) \quad (۳)$$

$$MiaxZ_4 = \sum_{i\in I}\sum_{p\in P}\sum_{J\in J}(L * KK_{pij} * IE_{pi} * YM_{pi}) \quad (۴)$$

ب. محدودیت‌ها:

$$\sum_{i\in I} YP_{pi} = Np\ \forall\ p \in P \quad (۵)$$

$$0 < \sum_{i\in I} YB_{pi} \le 2\ \forall\ p \in P \quad (۶)$$

$$Y_i = \sum_{p\in P} YM_{pi} + \sum_{p\in P} YB_{pj}\ \forall\ i \in I \quad (۷)$$

$$YB_{mp_1\,i} * YB_{p_2\,i} \le 0 \forall i \in I\ \&\ p_1 \& p_2 \in P\ \&\ p_1 = p_2 \quad (۸)$$

$$2 * RMM_{ij} \le sign(Q_i) * \sum_{p\in P} YM_{pi} + sign(Q_j) * \sum_{p\in P} YM_{pj}\ \forall\ p \in P\ \&\ i < j \quad (۹)$$

$$2 * RMB_{ij} \le sign(Q_i) * \sum_{p\in P} YM_{pi} + sign(Q_j) * \sum_{p\in P} YB_{pj}\ \forall\ p \in P\ \&\ i < j \quad (۱۰)$$

$$2 * RBB_{ij} \le sign(Q_i) * \sum_{p\in P} YB_{pi} + sign(Q_j) * \sum_{p\in P} YB_{pj}\ \forall\ p \in P\ \&\ i < j \quad (۱۱)$$

$$K_s \le \sum_{i\in I} SA_{si} * Y_i\ \forall\ s \in S \quad (۱۲)$$

$$Y_i \le \sum_{i\in I} SA_{si}\ \forall\ i \in I \quad (۱۳)$$

$$PS_{ps} \le \sum_{i\in I} SA_{si} * YM_{pi}\ \forall\ s \in S\ \&\ p \in P \quad (۱۴)$$

$$PS_{ps} \le \sum_{i\in I} SA_{si} * YB_{pi}\ \forall\ s \in S\ \&\ p \in P \quad (۱۵)$$

$$KC_{cr} \le \sum_{i\in I} CI_{cr\,i} * Y_i\ \forall\ cr \in CR \quad (۱۶)$$

$$Y_i \le \sum_{cr\in CR} CI_{cr\,i}\ \forall\ i \in I \quad (۱۷)$$

$$MC_{p\,cr} \le \sum_{i\in I} CI_{cr\,i} * YM_{pi}\ \forall\ cr \in CR\ \&\ p \in P \quad (۱۸)$$

$$MC_{p\,cr} \le \sum_{i\in I} CI_{cr\,i} * YB_{pi}\ \forall\ cr \in CR\ \&\ p \in P \quad (۱۹)$$

$$\sum_{i\in I}(AYM_{pi} * YM_{mi}) \ge O_{pc}\ \forall\ p \in P\ \&\ \forall\ c \in C \quad (۲۰)$$

$$\sum_{i\in I}(AYB_{pi} * YM_{pi}) \ge O_{pc}\ \forall\ p \in P \quad (۲۱)$$

$$YM_{pi} \le CAP_{pi}\ \forall\ p \in P\ \&\ \forall\ i \in I \quad (۲۲)$$

$$YB_{pi} \le CAP_{pi}\ \forall\ p \in P\ \&\ \forall\ i \in I \quad (۲۳)$$

$$AYM_{pi} * YM_{pi} \le CAP_{pi}\ \forall\ p \in P\ \&\ \forall\ i \in I \quad (۲۴)$$

$$AYB_{pi} * YM_{pi} \le CAP_{pi}\ \forall\ p \in P\ \&\ \forall\ i \in I \quad (۲۵)$$

$$YM_{pi} \le ceil(Q_i)\ \forall p \in P\ \&\ \forall\ i \in I \quad (۲۶)$$

$$\sum_{i\in I}\sum_{p\in P} C_{pi} * YM_{pi} \le B\ \forall\ i \in I\ \&\ p \in P \quad (۲۷)$$

تابع هدف (۱) وزن و شبکه روابط و سابقه همکاری بین تأمین‌کنندگان را برای تیم تأمین‌کنندگان نهایی به حداکثر می‌رساند. تابع هدف (۲) یک شبکه با حداقل هزینه را تشکیل می‌دهد تابع هدف (۳) تیمی با بالاترین سطح چرخه‌ای تشکیل می‌دهد و تابع هدف (۴) یک تیم با حداکثر قابلیت اشتراک دانش بین تأمین‌کنندگان را تشکیل می‌دهد.

محدودیت‌های ۵-۸ برای تخصیص، ۹-۱۱ برای شبکه همکاری قابل‌اعتماد، ۱۲-۱۵ محدودیت‌های مهارت، ۱۶-۱۹ محدودیت‌های چرخه‌ای، ۲۰-۲۱ برای تخصیص سفارش، ۲۲-۲۵ برای ظرفیت، ۲۶ محدودیت حذف تأمین‌کننده غیرقابل اطمینان و محدودیت ۲۷ محدودیت بودجه است.

محدودیت ۵ تعداد تأمین‌کنندگان اصلی موردنیاز را تعیین می‌کند و محدودیت ۶ تعریف می‌کند که حداقل یک و حداکثر دو تأمین‌کننده باید به‌عنوان پشتیبان برای هر تأمین‌کننده اصلی

[1] RCSS&OA: RELIABLE CIRCULAR SUPPLIER SELECTION & ORDER ALLOCATION

اختصاص داده شوند. محدودیت ۷ مجموعه تأمین‌کنندگان منصوب نهایی با yi را تعریف می‌کند. مطابق با مفروضات مدل، یک تأمین‌کننده در هر زمان تنها به یک تأمین‌کننده اختصاص داده می‌شود. بنابراین محدودیت ۸ اختصاص یک تأمین‌کننده به اصلی و پشتیبان را به‌طور هم‌زمان حذف می‌کند. بسته به نوع تأمین‌کنندگان مدل (اصلی یا پشتیبان) سه نوع رابطه وجود دارد. سه متغیر باینری RMM، RMB و RBB را می‌توان برای روابط در نظر گرفت. روابط بین دو تأمین‌کننده اصلی؛ اصلی با پشتیبان و پشتیبان با پشتیبان. محدودیت‌های ۹ - ۱۱ برای این سه رابطه تعریف‌شده است.

در طراحی تیم تأمین‌کنندگان حداقل تعداد موردنیاز تأمین‌کننده برای هر مهارت موردنیاز است. محدودیت ۱۲ این محدودیت را در نظر می‌گیرد. محدودیت ۱۳ تأمین‌کنندگان غیر ماهر را از تیم حذف می‌کند. مهارت‌های موردنیاز توسط PSps و مهارت‌های موجود توسط SAsi برای هر تأمین‌کننده تعریف می‌شوند. بنابراین، محدودیت ۱۴ این پارامتر را در تأمین‌کنندگان اصلی و محدودیت ۱۵ برای تأمین‌کنندگان پشتیبان تعریف کرد.

محدودیت‌های تأمین‌کننده چرخه‌ای: ۱۶-۱۹

در مدل پیشنهادی، مانند مقاله گووینـدان [۳۵] از هفت معیار (آلودگی هوا، استانداردهای زیست‌محیطی، مواد اولیه سازگار با محیط‌زیست، طراحی محیط‌زیست، بسته‌بندی سازگار با محیط‌زیست، حمل‌ونقل دوستدار محیط‌زیست و فناوری پاک) برای چرخه استفاده‌شده است. محدودیت (۱۶) حداقل تعداد الزامات تأمین‌کنندگان را برای هر معیار چرخه‌ای تعریف می‌کند. محدودیت (۱۷) تأمین‌کنندگان غیر چرخه‌ای را برای طراحی شبکه حذف می‌کند. موضوع دیگر معیار چرخه‌ای موردنیاز برای هر ماژول توسط MCp cr است. بنابراین، محدودیت (۱۸) این پارامتر را برای طراحی شبکه تأمین‌کننده در نظر می‌گیرد و تأمین‌کنندگان را با معیارهای چرخه‌ای خاص، که توسط MCp cr در تأمین‌کنندگان اصلی تعریف‌شده است، اختصاص می‌دهد، درحالی‌که محدودیت (۱۹) این محدودیت را برای تأمین‌کنندگان پشتیبان در نظر می‌گیرد.

با توجه به محدودیت (۲۰)، مقدار کل سفارش تخصیص‌یافته به تأمین‌کنندگان مختلف برای یک ماژول برابر و بیشتر از سفارش درخواست شده برای تأمین‌کنندگان اصلی و محدودیت (۲۱) برای تأمین‌کننده پشتیبان است. در واقع محدودیت ۲۰ و ۲۱ میزان بهینه تخصیص سفارش را برای تأمین‌کننده اصلی و پشتیبان مشخص می‌نمایند. محدودیت (۲۲) تأمین‌کنندگان بدون ظرفیت را برای تأمین‌کنندگان اصلی حذف می‌کند و محدودیت (۲۳) این محدودیت را برای تأمین‌کنندگان پشتیبان در نظر می‌گیرد. محدودیت (۲۴) از مقدار سفارش تخصیص‌یافته به تأمین‌کننده، بیش از ظرفیت موجود تأمین‌کننده برای تأمین‌کنندگان اصلی، و محدودیت (۲۵) برای تأمین‌کنندگان پشتیبان جلوگیری می‌کند. محدودیت (۲۶) تأمین‌کنندگان غیرقابل‌اعتماد را برای تأمین‌کنندگان اصلی حذف می‌کند. محدودیت (۲۷) محدودیت بودجه کل را برای محصول در نظر می‌گیرد.

۴-۳- روش حل پیشنهادی

روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده به‌عنوان الگوریتم دقیق، توسط ماوروتاس و فلوریوس [۳۸] و روش ال پی متریک برای یافتن راه‌حل‌های بهینه سراسری برای مسائل با اندازه کوچک و مقایسه نتایج با روش محدودیت اپسیلون استفاده می‌شود.

یکی از روش‌های متداول حل دقیق مسائل چندهدفه روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده می‌باشد. در این روش حل دقیق، مقدار بهینه اهداف مثل لکسیکوگراف جداگانه محاسبه می‌شود و مقادیر جدول دادوستد تولید می‌گردد، با این جدول بدترین و بهترین مقادیر هدف‌ها و بازه‌ی هرکدام تعیین و به مقادیر مساوی با نقاط مشخص تقسیم می‌شود در ادامه یکی از اهداف به‌عنوان هدف اصلی و دیگر اهداف در محدودیت‌ها قرار می‌گیرند. مدل حل می‌گردد در تکرارهای متوالی و در هر تکرار مقادیر سمت راست اهداف موجود در محدودیت‌ها افزایش می‌یابد تا در نهایت جواب‌های غیر مسلط تعیین می‌گردد. برای جزئیات و شرح این روش به مقاله ماورتاز و فلوریز [۳۸] مراجعه نمایید

۵- روش های حل، نتایج محاسباتی، تحلیل و ارزیابی مدل‌ها

در این مقاله چهار هدف در نظر گرفته شده است تا به انعطاف‌پذیری و واقعی‌تر شدن مدل کمک کند. در این مسئله اهداف در تناقض با یکدیگر هستند و تعریف مجموعه جواب غیرمسلط ضروری می‌باشد، به‌طوری‌که یک تابع هدف را بهینه نموده و با محدود کردن دیگر توابع هدف منجر به بدتر شدن دیگر اهداف نگردد. حداقل سه هدف این تحقیق در تضاد با یکدیگر هستند؛ زیرا هرچه همکاری و سابقه بیشتر هزینه بیشتر است و هرچه سطح چرخه‌ای بیشتر، هزینه بیشتر خواهد بود. مدل چهارهدفه با استفاده از روش حل دقیق محدودیت اپسیلون تقویت‌شده و ال‌پی‌متریک، حل گردید.

در این تحقیق برای تعیین وزن‌های روش ال‌پی‌متریک از تکنیک مقایسات زوجی توسط اکسپرت چویس استفاده گردیده است و نرخ ناسازگاری مقدار قابل‌قبول ۰/۰۸۴ به دست آمد. لذا وزن‌ها به‌صورت W1=w2=w3=w4= ۰/۲۵ به دست آمد.

۵-۱- بحث و نتایج تجربی

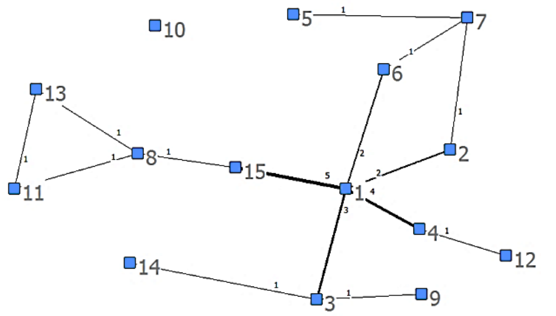
به‌منظور بررسی اثربخشی و ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی، می‌توان از دو روش استفاده کرد. روش اول ارزیابی مدل با استفاده از مجموعه داده آماده یا شبیه‌سازی‌شده و ارزیابی نتایج آن است. روش دوم ارزیابی عملکرد مدل در یک محیط واقعی است؛ بنابراین، این بخش دو آزمایش عددی را ارائه می‌دهد. اولین آزمایش یک شبکه مصنوعی کوچک از ۱۵ تأمین‌کننده با مهارت‌های محدود را به کار گرفت. آزمایش دوم در یک محیط واقعی و محصول صنعتی ۱۰ تأمین‌کننده و ۶ ماژول را در نظر گرفت. پس‌ازآن، مدل با استفاده از نرم‌افزار گمز در کامپیوتری با پردازنده ۲،۶ و ۴ گیگابایت رم بر روی هر دو مجموعه داده اجرا شد و نتایج اجرای مدل برای هر مسئله در بخش‌های بعدی ارائه شده است.

در مقایسه نتایج مدل با مقاله فتحیان و همکاران (۲۰۱۷)، هر دو مدل از حل دقیق از طریق گمز است و برای تشکیل شبکه مفید می‌باشد و داده‌ها در هر دو قطعی است، هرچند مدل (فتحیان و همکاران، ۲۰۱۷) تک‌هدفه و خطی بود و تنها پشتیبان و شبکه قابل‌اعتماد همکاری را در نظر گرفته است و همچنین هزینه نیز که در طراحی شبکه تأمین‌کنندگان فاکتور مهمی است برخلاف پژوهش حاضر در نظر گرفته نشده است؛ همچنین انتساب آن‌ها یک‌به‌یک می‌باشد یعنی برای هر موقعیت تنها یک انتخاب در نظر گرفته‌اند ولی در مدل پیشنهادی، تخصیص یک به چند است، لذا یک تأمین‌کننده بسته به مفروضات می‌تواند بیش از یک ماژول را اختیار کند. در مقایسه با پژوهش سجادیان مدل آن‌ها دوهدفه غیرخطی بود و معیارهای چرخه‌ای و قابلیت اطمینان را در نظر نگرفت ولی در پژوهش حاضر مدل چندهدفه غیرخطی تصادفی با در نظر گرفتن محدودیت‌های ظرفیت، تخصیص سفارش، انتساب، ارتباطات و اشتراک دانش می‌باشد. همچنین طبق جدول (۲) نتایج مدل حاضر با سایر مطالعات پیشین قابل‌مقایسه می‌باشد.

الف. مسئلهٔ شبیه‌سازی‌شده و مصنوعی

۱) مجموعه داده‌ها: مجموعه‌ای متشکل از محصولی با ۴ ماژول، ۱۵ تأمین‌کننده با دو مهارت و ۷ معیار چرخه‌ای و ۱ مشتری در نظر گرفته شد که هر تأمین‌کننده مهارت ۱، مهارت ۲ ، هر دو مهارت ۱ و ۲ یا مهارت ندارد. همچنین هر تأمین‌کننده معیارهای چرخه‌ای و را دارد و یا ندارد.

برخی از این تأمین‌کنندگان درگذشته باهم همکاری داشته‌اند. این همکاری در شکل (۳) توسط لبه‌ها و گره‌ها نشان داده‌شده است. گره‌ها نماینده تأمین‌کنندگان هستند، درحالی‌که لبه‌ها نمایانگر همکاری قبلی بین آن‌ها هستند. اعداد نشان داده‌شده در لبه‌ها نشان‌دهنده وزن همکاری بین آن‌ها است، به‌طوری‌که تعداد بیشتر نشان‌دهنده همکاری بیشتر بین آن‌ها است. برای جلوگیری از پیچیدگی شکل مهارت‌ها، معیارهای چرخه‌ای و هر تأمین‌کننده در شکل نشان داده نشده است و در ادامه قابل‌مشاهده است.



شکل (۳). شبکه و سوابق همکاری تأمین‌کنندگان

پارامترهای موردنظر مسئله شبیه‌سازی‌شده :

داده‌های کلی و پارامترهای شبکه مصنوعی (مسئله در مقیاس کوچک)

I	IS	ES	M	S	CR
۱۵	۱۰	۵	۴	۲	۷

Np=[2,2,1,1]

Op=[8, 2, 1, 3]

Ks=[1, 1]

Qi=[1 1 1 1 0 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 1 0.9 1]

KCcr= [1, 1, 0, 0, 0, 0, 0]

Wij=,[0 2 3 4 0 2 0 0 0 0 0 0 0 0 5,0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0,0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0,0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0,,0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 00 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0,0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0,0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1,0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0,0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0,0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0,0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0,0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0,0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0,0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]

CAPpi= [6 0 0 0 0 0 0 6 0 0 0 0 6 0 6, 0 2 0 0 0 0 0 0 2 0 0 0 2 0 2, 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1, 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 3]

SAsi= [1 0 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1, 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 0 1]

PSps= [1 0, 1 1, 1 0, 1 0]

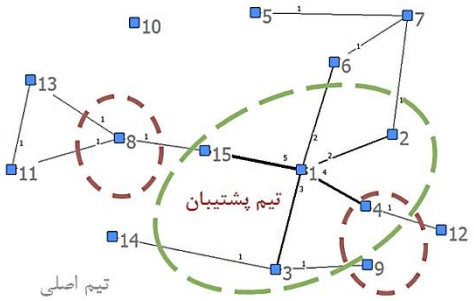
SKsi=,[5 0 2 1 0 0 0 5 1 1 4 0 4 0 3, 1 1 1 2 0 0 1 1 0 0 1 4 1 0 1]

MCpcr=,[1 2 3 4 5 6 7, 1 0 0 0 0 0 0, 1 1 0 0 0 0 0, 1 0 0 0 0 0 0, 1 0 0 0 0 0 0]

Cicr i=,[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15, 1 1 0 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 1, 2 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1, 3 1 0 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 1, 4 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1, 5 1 0 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 1, 6 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1, 7 1 0 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 1]

$CAPM_{pc}$=,[1 8, 2 2, 3 1, 4 3]

۲) نتایج: پس از حل مدل پیشنهادی RCSS&OA، بهترین تأمین‌کنندگان چرخه‌ای قابل‌اطمینان به دست آمد. تیم اصلی، اعضای تیم اصلی با توجه به ماژول خود، YM بودند . ازاین‌رو، تیم تأمین‌کنندگان اصلی و پشتیبان y_I =[1,2,3,4,8,9,15] تیم اصلی y_M =[1,2,3,4,15] پشتیبان y_B =[4,8,9] به دست آمد. طبق نتایج، تمام مفروضات و محدودیت‌ها در این مطالعه پوشش داده شده است. همچنین، می توان دریافت که اولین اولویت انتخاب یک تأمین‌کننده از تأمین‌کنندگان معتبر چرخه‌ای بود و مدل بهترین پشتیبان‌گیری را برای هریک از تأمین‌کنندگان، داشتن همکاری خوب با دیگران و داشتن معیارهای چرخه‌ای، سطح قابلیت ساخت و مهارت‌های مشابه با تأمین‌کنندگان اصلی آن‌ها، ارائه می‌دهد. نتایج در شکل (۴) و (۵) نمایش داده شده است.



شکل (۴). بهترین تأمین‌کنندگان دایره‌ای قابل‌اعتماد (بهترین تیم و پارامترهای اصلی)

در شکل (۵) پارامترهای اصلی و نیز نتایج حاصل از حل دقیق برای یکی از نقاط جواب جبهه پارتو موجود می‌باشد.

۴ ماژول	4	3	2	1
دو مهارت	S.1	S.1	S.1 s.2	S.1
تأمین‌کنندگان اصلی	4	3	1 3	2 1
تأمین‌کنندگان پشتیبان	8	4	8 9	

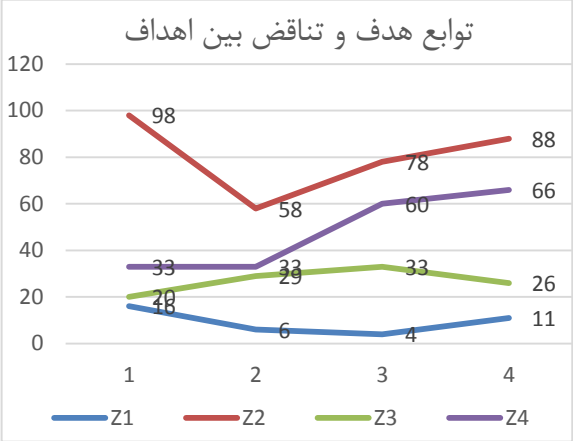
شکل (۵). تأمین‌کنندگان باقابلیت‌ها و مهارت‌ها و موقعیت اصلی و پشتیبان

جدول (۳) این جدول تناقض بین اهداف را نشان می‌دهد مثلاً Z2 و Z3 یا Z1 و Z3.

جدول (۳). جدول توازن از روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده

جدول توازن-دادوستد	Z1	Z2	Z3	Z4
Z1	۱۶	۹۸	۲۰	۳۳
Z2	۶	۵۸	۲۹	۳۳
Z3	۴	۷۸	۳۳	۶۰
Z4	۱۱	۸۸	۲۶	۶۶

جدول (۳) تضاد بین اهداف را نشان می‌دهد. به‌عنوان‌مثال اهداف ۱ و۳ ، ۱و ۲ ، ۴ و ۳. با کاهش مقدار تابع هدف ۳ ، تابع هدف ۱ افزایش می‌یابد، به این معنی که هرچه سطح چرخه‌ای بیشتر باشد، همکاری کمتر، قابلیت اطمینان کمتر می‌شود. هر چه معیار چرخه‌ای بیشتر می‌شود هزینه نیز بیشتر می‌گردد. هزینه نیز درجه دوم و غیرخطی است. نتایج حاصل واقعیت را تائید می‌نماید زیرا انتظار می‌رود هرچه همکاری بیشتر هزینه بیشتر شود و قابلیت اطمینان کمتر و هرچه معیار چرخه‌ای بیشتر هزینه نیز بیشتر می‌گردد. شکل (۶) تناقض بین اهداف را به‌درستی نشان می‌دهد.



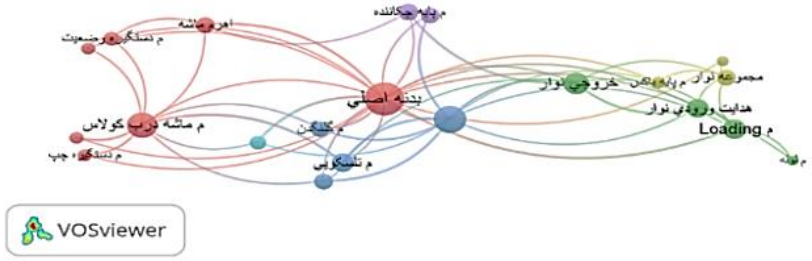
شکل (۶). تناقض بین اهداف

ب. مسئله واقعی: مطالعه کاربردی دوربین الکترواپتیکی

با توجه به ویژگی‌ها و پیش‌فرض‌های مدل، نیاز است محصولی ماژولار انتخاب گردد که نیازمند مهارت‌ها و ویژگی‌های طراحی محصول در سطوح مختلف باشد؛ لذا اطلاعات حاصل از این مطالعه برای کاربرد در دنیای واقعی بر دوربین الکترواپتیکی در یک صنعت اجرا شد و نتایج آن در اختیار مهندسان، طراحان و مدیریت قرار گرفت. سامانه‌های نظارت الکترواپتیکی، سیستم‌های کامپیوتری و خودکار می‌باشند که برای نظارت بر مرزها در شب و روز طراحی شده‌اند و اجزای آن شامل، مانیتور، دوربین حرارتی، کاربر، دوربین تلویزیونی و واحد کنترل است. سامانه نظارتی در پنج نوع و بر اساس اهداف و راهبردهای مختلف توسط وزارت دفاع و پشتیبانی نیروی مسلح تولید می‌شوند. سامانه موردنظر یک سامانه مراقبت و شناسایی است که در مدل‌های مختلف سیار و ثابت و در کارایی‌های مختلف نظامی و غیرنظامی کنترل و مراقبت مورداستفاده قرار می‌گیرد. فیلم‌برداری وضوح‌بالا و مجهز به موتور زوم متغیر، نمایشگر حرارتی کیفیت بالا که ازجمله ویژگی‌های سیستم نظارت الکترواپتیکی است و توسط یک واحد اصلی و مرکزی کنترل می‌شود و مجهز به دوربین‌های حرارتی و مرئی می‌باشد.

داده‌های مدل از نظر خبرگان و اطلاعات در دسترس طراحان و مدیران و مهندسان استفاده شد. ابتدا ماتریس ساختار طراحی بر اساس تعاملات فیزیکی اجزای محصول، در قالب ماتریس ۲۵*۲۵ ایجاد گردید. سپس با استفاده از خوشه‌بندی نرم‌افزار وسویور و حداقل تعداد تعاملات دو، بهترین خوشه‌بندی با نظر خبرگان به تعداد شش خوشه (ماژول) (فاصله‌یاب، دوربین IR، Serial، M.B، پایه، موتور گشتاور)

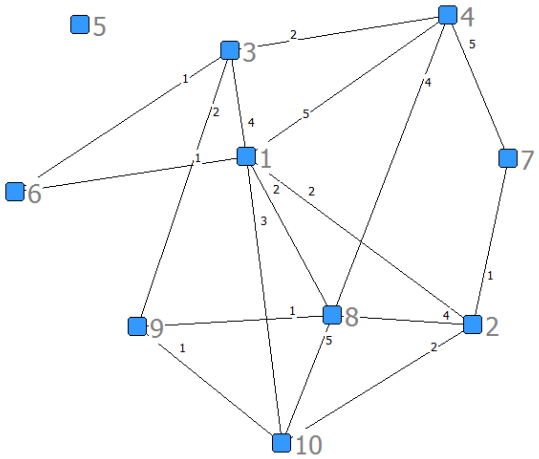
نتایج خوشه‌بندی در شکل (۷) قابل‌مشاهده است.



شکل (۷). شش خوشه حاصل از خوشه‌بندی نرم‌افزار وسویور

سپس مقادیر پارامترهای موردنیاز مدل تعیین گردید و مدل حل گردید، نتایج به شرح جدول زیر می‌باشد.

مجموعه داده‌ها: مطالعه کاربردی واقعی ، مجموعه داده شامل ۱۰ تأمین‌کننده با ۶ ماژول که ماژول‌ها از خوشه‌بندی ماتریس طراحی با نرم‌افزار وسویوور به دست آمد با دو مهارت و دو معیار چرخه‌ای در نظر گرفته شد. در شکل (8) شبکه همکاری تأمین‌کنندگان نمایش داده شده است.



شکل (۸). شبکه تأمین‌کنندگان (۱۰ تأمین‌کننده، ۶ ماژول، ۲ مهارت و ۲ معیار دایره‌ای و ۲ سطح آمادگی ساخت)

ج. نتایج

از بین ۱۰ تأمین‌کننده و ۶ ماژول بهترین انتخاب تأمین‌کنندگان قابل‌اطمینان چرخه‌ای و تخصیص سفارش در قالب دو تیم اصلی و پشتیبان انتخاب و معرفی گردیدند. نتایج نشان داد که تیم اصلی و پشتیبان با معیارهای چرخه‌ای و قابلیت اعتماد و با لحاظ کلیه محدودیت‌ها تشکیل گردید.

مقایسه نتایج با وضعیت موجود نشان داد که تفاوت معناداری وجود دارد. چون قبلاً صرفاً تأمین‌کنندگان با بیشترین سوابق قبلی و ارتباطات یا با نظر مستقیم مدیریت انتخاب می‌شدند. با توجه به این‌که مدل پیشنهادی کلیهٔ مفروضات و محدودیت‌ها و نیز چندهدفه، هم‌زمان همکاری و هزینه پیشنهادی و ظرفیت و مهارت و معیارها را در نظر گرفته بود و توسط روش محدودیت اپسیلون تقویت‌شده جواب‌های بهینه پارتویی دقیق را ارائه می‌داد، مدیر پروژه و تصمیم‌گیران بر آن شدند تا در پروژه‌های آتی، از نتایج مدل استفاده نمایند. نتایج حاصل از این مورد در شکل (۹) نشان داده شده است. نتایج به‌کارگیری مدل پیشنهادی برای انتخاب و سفارش ده تأمین‌کننده در یک شرکت تولیدکننده دوربین های الکترواپتیکال در ایران، نشان دهنده کاربرد و کارایی آن است.

۵-۲- روش اعتبارسنجی نتایج

اعتبارسنجی نتایج فرایندی است که جهت اعتماد بخشی به مدل و خروجی‌های آن پس از اجرای الگوریتم‌ها به کار گرفته می‌شود؛ بنابراین اعتبارسنجی بخش مهم و تأثیرگذاری برای حصول اطمینان از معتبر بودن مدل و صحت عملکردو اینکه مدل چه درجه‌ای از جهان واقعی را با موفقیت شبیه‌سازی می‌کند می‌باشد. مدل‌ها و الگوریتم‌های حوزه تیم‌سازی مرتب با مسائل مطرح در حوزه تحقیق در عملیات و بهینه‌سازی است. دو روش عمده که برای اعتبارسنجی نتایج در مسائل حوزه بهینه‌سازی قابل‌تصور است عبارت‌اند از:

الف) با اجرای روش‌های برنامه‌ریزی خطی و عدد صحیح در خصوص مسائل کوچک می‌توان خروجی بهینه کلی را با خروجی‌های به‌دست‌آمده از روش‌های ابتکاری مقایسه کرد. ازآنجاکه توابع هدف قابل‌اندازه‌گیری و مقایسه است در صورت نبود جواب بهینه کلی می‌توان با مقایسه جواب الگوریتم‌های مختلف از ارتقای کیفیت جواب‌ها اطمینان حاصل نمود.

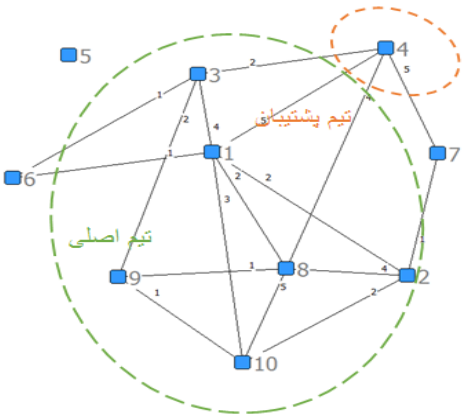
ب) در پاره‌ای از موارد روش الف چندان کارگشا نخواهد بود و می‌بایست به روش دیگری که مستقل از رویکرد بهینه‌سازی است روی آورد. روش دیگر پیاده‌سازی مدل‌های توسعه داده‌شده در یک مجموعه واقعی یا تحقیقاتی و ارزیابی نتایج حاصل از مدل با نظر خبرگان آن مجموعه است. از سوی دیگر باید در نظر داشت که مدل‌های بهینه‌سازی به‌خودی‌خود در صورت منطقی بودن معتبر هستند؛ بنابراین گزینه اصلی این تحقیق روش دوم خواهد بود و جهت ارزیابی کاربردی مدل یک مسئله واقعی توسط مدل نهایی پیاده‌سازی خواهد شد، هرچند با به‌کارگیری دو روش حل دقیق و نتایج نزدیک این دو الگوریتم، اعتبار سنجی نتایج حاصل از اجرای مدل نیز تائید گردید. حل این مسئله از طریق نرم‌افزارگمز در یک رایانه Core i5 4GB RAM در مدت‌زمان ۶۸۴ ثانیه برای مسئله شبیه‌سازی‌شده و ۱۲۰۸ ثانیه برای مسئله واقعی صورت گرفته است.

تحلیل حساسیت مدل

برای ارزیابی مدل در مطالعه موردی و همچنین تعیین مقدار تأثیر تغییر برخی پارامترهای اساسی مورداستفاده در نتایج، آنالیز حساسیت بر روی مدل انجام گرفت. لذا تحلیل حساسیت بر روی پارامتر تعداد تأمین‌کنندگان اصلی مدل انجام گردید. طبق جدول مشاهده گردید با افزایش Np در اغلب مواقع مدل غیر شدنی می‌گردد. جدول (۴) نتایج تحلیل حساسیت را نشان می‌دهند.

جدول (۴). نتایج تحلیل حساسیت

Npتعداد تأمین‌کنندگان تیم اصلی برای هر ماژول	شدنی/نشدنی
p1= 1,p2= 2,p3= 1,p4= 1,p5= 1,p6= 1	شدنی
p1= 1,p2= 2,p3= 1,p4= 1,p5= 1,p6= 1	شدنی
p1= 2,p2= 2,p3= 1,p4= 1,p5= 1,p6= 1	شدنی
p1= 2,p2= 2,p3= 2,p4= 1,p5= 1,p6= 2	نشدنی
p1= 4,p2= 3,p3= 1,p4= 2,p5= 1,p6= 1	نشدنی
p1= 5,p2= 4,p3= 3,p4= 2,p5= 1,p6= 1	نشدنی



شکل (۹). بهترین تأمین‌کنندگان قابل‌اعتماد چرخه‌ای

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این مقاله در مورد مسئله تشکیل یک شبکه از تأمین کنندگان معتبر و قابل‌اعتماد و قابل‌اطمینان و چرخه‌ای برای تخصیص و واگذاری ماژول‌ها، برای تخصیص سفارش، اشتراک دانش، پوشش مجموعه‌ای از مهارت‌ها، شایستگی‌ها و قابلیت‌های موردنیاز، تخصیص سفارش و ظرفیت بحث کرد، شبکه همکاری آن‌ها را در نظر گرفت، و یک مدل ریاضی چندهدفه را با چهار هدف متناقض شبکه همکاری، هزینه، معیارهای چرخه‌ای و اشتراک دانش معرفی کرد که دو تیم اصلی و پشتیبان از تأمین‌کنندگان قابل‌اطمینان چرخه‌ای را تشکیل می دهد. بر اساس مراحل تحقیق، ابتدا یک محصول ماژولار انتخاب گردید و تعداد ماژول‌ها با خوشه‌بندی مشخص شد. پس‌ازآن پارامترها و متغیرها و معیارها تعیین گردیده و پس از فرمول‌بندی و حل مدل، مدل اعتبار سنجی گردید و نتایج و تیم‌ها و تخصیص سفارش بهینه تعیین گردید. از نتایج حاصل از حل مدل با داده ساختگی، تیم اصلی (۱، ۲، ۳، ۴ و ۱۵) و تیم پشتیبان (۴، ۸ و ۹) به دست آمد. همچنین از نتایج حاصل از حل مدل با داده واقعی، تیم اصلی (۱، ۲، ۳، ۸، ۹ و ۱۰) و تیم پشتیبان (۴) به دست آمد. برای ارزیابی مدل، از یک مسئله عددی مصنوعی و یک مسئله واقعی با داده‌های یک محصول صنعتی، دوربین الکترواپتیکی استفاده شد. نتایج تجربی تأیید کرد که مدل پیشنهادی می تواند به‌طور مؤثر شبکه تأمین‌کنندگان قابل‌اطمینان چرخه‌ای را با کمترین هزینه و بیشترین همکاری و سطح چرخه‌ای و اشتراک دانش تشکیل دهد. مدل در مقیاس کوچک در دو مطالعه با روش حل دقیق محدودیت اپسیلون تقویت‌شده و ال‌پی‌متریک حل گردید و تحلیل حساسیت نیز انجام گردید. یکی از مزیت مدل ما این است که هم‌زمان سوابق تأمین‌کنندگان و شبکه همکاری، اشتراک دانش و معیارهای چرخه‌ای را در نظر گرفت. همچنین می‌توان در تحقیقات آتی فازهای طراحی و زمان را در نظر گرفت. یکی از فرضیات این مدل در دسترس بودن تأمین‌کننده پشتیبان در طول پروژه است. بااین‌حال، در دنیای واقعی، پشتیبان لحاظ نمی شود. در مطالعات آینده می‌توان هزینه کل شبکه را نیز در نظر گرفت؛ همچنین دیگر شایستگی‌های تأمین‌کنندگان همچون توسعه، ساخت، مونتاژ، خرید و مدیریت زنجیره تأمین را در نظر گرفت. استفاده از داده‌های غیرقطعی و روش‌های ترکیبی و MADM برای پیش انتخاب نیز می‌تواند مؤثر باشد. پیشنهاد می‌گردد سطح بهینه پیکره‌بندی معماری محصول در قالب تعداد بهینه ماژول نیز موردمطالعه قرار گیرد، زیرا تعیین تعداد بهینه ماژول‌ها در کل زنجیره تأمین مؤثر است. با توجه به اینکه NP-Hard [۳۹] بودن مسئله را اثبات کرد است؛ بنابراین، پیشنهاد می‌گردد برای حل از انواع متداول الگوریتم‌های ابتکاری و فرابتکاری استفاده گردد و نتایج مقایسه گردد. همچنین می‌توان استراتژی تعداد بهینه ماژول‌ها و زیرسیستم‌های محصول را نیز در مدل وارد کرد.

۷- مراجع

[1] B. Nepal, L. Monplaisir, and O. Famuyiwa, "Matching product architecture with supply chain design," European Journal of Operational Research, vol. 216, no. 2, pp. 312-325, 2012.

[2] A. Bardi, "Corporate Strategies and Organisational Models," Lines of Development and Evolutionary Trends in the Automobile Sector, 2002.

[3] H. Mirzaee, B. Naderi, and S. H. R. Pasandideh, "A preemptive fuzzy goal programming model for generalized supplier selection and order allocation with incremental discount," Computers & Industrial Engineering, vol. 122, pp. 292-302, 2018.

[4] O. Jadidi, S. Zolfaghari, and S. Cavalieri, "A new normalized goal programming model for multi-objective problems: A case of supplier selection and order allocation," International Journal of Production Economics, vol. 148, pp. 158-165, 2014.

[5] N. Aissaoui, M. Haouari, and E. Hassini, "Supplier selection and order lot sizing modeling: A review," Computers & Operations Research, vol. 34, no. 12, pp. 3516-3540, 2007.

[6] Z. Karimmian, S. H. Ghodsypour, and J. Gheidar-Kheljani, "Supplier Selection Problem Considering Relationships between Suppliers and Supply Disruption Risk in complex products," Journal of Production and Operations Management, vol. 8, no. 2, pp. 135-150, 2018.

[7] S. Rezaei, I. Ghalehkhondabi, M. Rafiee, and S. N. Zanganeh, "Supplier selection and order allocation in CLSC configuration with various supply strategies under disruption risk," (in English), Opsearch, Article vol. 57, no. 3, pp. 908-934, Sep 2020.

[8] R. Akella, V. F. Araman, and J. Kleinknecht, "B2B Markets: Procuremen and supplier risk management in E-Business," in Supply chain management: Models, applications, and research directions: Springer, pp. 33-66, 2002.

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

[10] K. B. Chen, H. M. Zhao, and T. J. Xiao, "Outsourcing contracts and ordering decisions of a supply chain under multi-dimensional uncertainties," (in English), Computers & Industrial Engineering, Article vol. 130, pp. 127-141, Apr. 2019.

[11] E. Majd, V. Balakrishnan, and V. Godazgar, "Selecting the reliable supplier by using the advisor agents," Journal of Business & Industrial Marketing, 2017.

[12] A. Nobari, A. Khierkhah, and V. Hajipour, "A Pareto-based approach to optimise aggregate production planning problem considering reliable supplier selection," International Journal of Services and Operations Management, vol. 29, no. 1, pp. 59-84, 2018.

[13] E. B. Tirkolaee, A. Mardani, Z. Dashtian, M. Soltani, and G.-W. Weber, "A novel hybrid method using fuzzy decision making and multi-objective programming for sustainable-reliable supplier selection in two-echelon supply chain design," Journal of Cleaner Production, vol. 250, p. 119517, 2020.

[14] A. Zaretalab, V. Hajipour, and M. Tavana, "Redundancy allocation problem with multi-state component systems and reliable supplier selection," Reliab. Eng. Syst. Saf., vol. 193, p. 106629, 2020.

[15] A. K. 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, p. 124994, 2021.

[16] K. Govindan, H. Mina, A. Esmaeili, and S. M. Gholami-Zanjani, "An Integrated Hybrid Approach for Circular Supplier Selection and Closed loop Supply Chain Network Design under Uncertainty," (in English), Journal of Cleaner Production, vol. 242, no. 118317, 2020.

[17] S. M. Hosseini and P. Akhavan, "A model for project team formation in complex engineering projects under uncertainty A knowledge-sharing approach," (in English), KYBERNETES, vol. 46, no. 7, pp. 1131-1157, 2017.

[18] M. Fathian, M. Saei-Shahi, and A. Makui, "A New Optimization Model for Reliable Team Formation Problem Considering Experts' Collaboration Network," IEEE Transactions on Engineering Management, vol. 64, no. 4, pp. 586-593, 2017.

[19] M. Sajadiyan, R. Hosnavi, M. karbasian, and M. Abbasi, "Proposing an Optimization Model by Simultaneous Consideration of the Interactions Between Modules and the Relationships Among Suppliers, With a case study on the electro-optical camera," Production and Operations Management, 12(3), pp. 41-64, 2021.

[20] V. Di Pasquale, M. E. Nenni, and S. Riemma, "Order allocation in purchasing management: a review of state-of-the-art studies from a supply chain perspective," (in English), International Journal of Production Research, Review vol. 58, no. 15, pp. 4741-4766, Aug 2020.

[21] A. Awasthi, K. Govindan, and S. Gold, "Multi-tier sustainable global supplier selection using a fuzzy AHP-VIKOR based approach," International Journal of Production Economics, vol. 195, pp. 106-117, 2018.

[22] N. Banaeian, H. Mobli, B. Fahimnia, I. E. Nielsen, and M. Omid, "Green supplier selection using fuzzy group decision making methods: A case study from the agri-food industry," Computers & Operations Research, vol. 89, pp. 337-347, 2018.

[23] S. O. Erikstad, "Design for modularity," in A holistic approach to ship design: Springer, pp. 329-356, 2019.

[24] D. V. Steward, "The design structure system: A method for managing the design of complex systems," IEEE Transactions on Engineering Management, vol .EM-28, no. 3, pp. 71-74, 1981.

[25] F. Kafi and S. M. T. Fatemi Ghomi, "A Game-Theoretic Model to Analyze Value Creation with Simultaneous Cooperation and Competition of Supply Chain Partners," Mathematical Problems in Engineering, vol. 2014, pp. 1-10, 2014.

[26] R. Kapoor and P. J. McGrath, "Unmasking the interplay between technology evolution and R&D collaboration: Evidence from the global semiconductor manufacturing industry, 1990–2010," Research Policy, vol. 43, no. 3, pp. 555-569, 2014.

[27] S. Rezaei, I. Ghalehkhondabi, M. Rafiee, and S. Namdar Zanganeh, "Supplier selection and order allocation in CLSC configuration with various supply strategies under disruption risk," (in English), Opsearch, Article vol. 57, no. 3, pp. 908-934, 2020.

[28] M. Farooque, A. Zhang, M. Thürer, T. Qu, and D. Huisingh, "Circular supply chain management: A definition and structured literature review," (in English), Journal of Cleaner Production, Review vol. 228, pp. 882-900, 2019.

[29] S. Lahane, R. Kant, and R. Shankar, "Circular supply chain management: A state-of-art review and future opportunities," (in English), Journal of Cleaner Production, Review vol. 258, no. 120859, 2020.

[30] L. Batista, M. Bourlakis, P. Smart, and R. Maull, "In search of a circular supply chain archetype–a content-analysis-based literature review," Production Planning & Control, vol. 29, no. 6, pp. 438-451, 2018.

[31] R. González-Sánchez, D. Settembre-Blundo, A. M. Ferrari, and F. E. García-Muiña, "Main dimensions in the building of the circular supply chain: A literature review," (in English), Sustainability (Switzerland), Review vol. 12, no. 6, Art no. 2459, 2020.

[32] D. Kannan, H. Mina, S. Nosrati-Abarghooee, and G. Khosrojerdi, "Sustainable circular supplier selection: A novel hybrid approach," Science of the Total Environment, vol. 722, p. 137936, 2020.

[33] B. Alavi, M. Tavana, and H. Mina, "A Dynamic Decision Support System for Sustainable Supplier Selection in Circular Economy," (in English), Sustain. Prod. Consump., Article vol. 27, pp. 905-920, 2021.

[34] H. Mina, D. Kannan, S. M. Gholami-Zanjani, and M. Biuki, "Transition towards circular supplier selection in petrochemical industry: A hybrid approach to achieve sustainable development goals," Journal of Cleaner Production, vol. 286, p. 125273, 2021.

[35] K. Govindan, H. Mina, A. Esmaeili, and S. M. Gholami-Zanjani, "An integrated hybrid approach for circular supplier selection and closed loop supply chain network design under uncertainty," Journal of Cleaner Production, vol. 242, p. 118317, 2020.

[36] E. Siemsen, A. V. Roth, and S. Balasubramanian, "How motivation, opportunity, and ability drive knowledge sharing: The constraining-factor model," Journal of Operations Management, vol. 26, no. 3, pp. 426-445, 2008.

[37] H. A. ElMaraghy and N. Mahmoudi, "Concurrent design of product modules structure and global supply chain configurations," International Journal of Computer Integrated Manufacturing, vol. 22, no. 6, pp. 483-493, 2009.

[38] G. Mavrotas and K. Florios, "An improved version of the augmented ε-constraint method (AUGMECON2) for finding the exact pareto set in multi-objective integer programming problems," Applied Mathematics and Computation, vol. 219, no. 18, pp. 9652-9669, 2013.

[39] M. Kargar, A. An, and M. Zihayat, "Efficient Bi-objective Team Formation in Social Networks," in Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases, ed: Springer Berlin Heidelberg, pp. 483-498, 2012.

Iranian Journal of Supply Chain Management

4 Vol. 24, No. 76, Autumn, 2022

A Multi-Objective Model for Reliable Circular Supplier Network Design Considering Knowledge Sharing, Backup Supplier, and Circular Criteria

S. M. Sajadiyan, Morteza Abbasi*, R. Hosnavi

*Assistant Professor, Management and Industrial Engineering Complex, Malek-e- Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

(Received: 13/07/2022; Accepted: 03/10/2022)

Abstract

Due to global threats such as pandemics and wars affecting supply chains, redesigning the supplier network with circular criteria, cost reduction and proper supplier backup to reduce supply risk is a an importtant need in today's industrial society. To address this issue, this paper developed a multi-objective model with conflicting objectives to design a circular reliable supplier network considering knowledge sharing capability, backup, skills, reliable cooperation networks, cost, capacity, order allocation, and circular criteria for a modular product. The proposed model for network design simultaneously considers the following key factors: 1) circular criteria, 2) cooperation network and historical records between suppliers, 3) skills, 4) ability to share knowledge and experience, and 5) cost and backup suppliers. The model was evaluated with the numerical study of the simulated data as well as with the real data of the electro-optical camera, and it was validated with the precise method of augmented epsilon constraint method and LPmetric and the exact solution of small-scale problems, and the sensitivity analysis was also performed.; Therefore, first a modular product was selected and the number of modules was determined by clustering. Then, the parameters and variables were determined and after formulating and solving the model, the model was validated and the results, teams and optimal order allocation were determined. From the results of solving the model with artificial data, the main team (1, 2, 3, 4 and 15) and the support team (4, 8 and 9) were obtained. Also, according to the results of solving the model with real data, the main team (1, 2, 3, 8, 9 and 10) and the support team (4) were obtained. The results showed that, based on all the assumptions و this approach, suggests the network of optimal circular reliable suppliers in two main and supporting groups with the lowest cost, the most knowledge sharing and reliability and circular criteria. The results are in line with the needs of modern industrial society. At the end, suggestions for future research were presented.

Keywords: Circular Criteria, Selection of Reliable Circular Suppliers and Order Allocation, Design Structure Matrix, Modular Product Architecture, Multi-Objective Model

*Corresponding Author E-mail: morabbasi@gmail.com