



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, Revised: 01/08/2022, Accepted: 03/10/2022, Published: 21/01/2023)

DOR: 20.1001.1.20089198.1401.24.76.4.5

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 an important 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 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

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University

 Authors



* Corresponding Author Email: morabbasi@gmail.com

مدل چندهدفه طراحی شبکه تأمین کنندگان قابل اطمینان چرخه‌ای با

لحاظ اشتراک دانش، پشتیبان و معیارهای چرخه‌ای

سید محمد سجادیان^۱، مرتضی عباسی^{۲*}، رضا حسینی^۳

۱- دانشجوی دکتری، ۲- استادیار، ۳- استاد گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

DOR: 20.1001.1.20089198.1401.24.76.4.5

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۱/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۵/۱۰

چکیده

با توجه به تهدیدات جهانی مانند بیماری‌های همه‌گیر و جنگ برای زنجیره‌های تأمین، طراحی مجدد شبکه تأمین کنندگان با معیارهای چرخه‌ای، کاهش هزینه و پشتیبان‌گیری 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 تأمین کنندگان قابل اعتماد چرخه‌ای با لحاظ قابلیت اشتراک دانش، پشتیبان، مهارت، شبکه‌های همکاری قابل اعتماد، 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 تأمین کنندگان، (۳) مهارت، (۴) قابلیت اشتراک دانش و تجربه، و (۵) هزینه و تأمین کنندگان پشتیبان را در نظر گرفت. مدل با مطالعه عددی داده شبیه‌سازی شده 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. پس از آن 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، ۴، ۸، ۹ و ۱۰) و تیم پشتیبان (۴) به دست آمد. نتایج نشان داد که این رویکرد بر اساس تمامی مفروضات، شبکه تأمین کنندگان قابل اطمینان 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 (دایره‌های یا مدور)، انتخاب تأمین کنندگان چرخه‌ای قابل اطمینان و تخصیص سفارش، ماتریس ساختار طراحی، معماری محصول ماژولار، مدل چندهدفه

۱- مقدمه

شبکه همکاری تأمین کنندگان قابل اعتماد کاربردهای زیادی برای بازطراحی زنجیره‌های 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 ارزش آفرینی خود را به تأمین کنندگان واگذار نمایند [۲]. تأمین کنندگان به‌عنوان اولین سطح شبکه زنجیره تأمین تأثیر قابل توجهی بر کارایی کل شبکه دارند. حدود ۷۰ درصد از هزینه محصولات مربوط به هزینه خرید مواد اولیه از تأمین کنندگان است [۳]. بهترین ابزار برای تصمیم‌گیرندگان برای فرمول‌بندی مسئله انتخاب تأمین کنندگان برنامه‌ریزی ریاضی است [۴ و ۵]. تحقیق‌هایی نیز در زمینه ارتباط تأمین کنندگان و خریداران، ارتباط تأمین کنندگان و فروشندگان، ارتباط تأمین کنندگان و تأمین کنندگان تاکنون انجام گرفته است. همچنین ارتباط بین تأمین کنندگان حوزه مهمی است که توجه

امروزه، جامعه و دولت‌ها به‌طور فزاینده‌ای بر شرکت‌ها فشار می‌آورند تا با محیط‌زیست سازگار شوند و اقتصاد چرخه‌ای^۱ را به کارگیرند. همچنین، آن‌ها همکاری با تأمین کنندگان 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 تأمین کنندگان پشتیبان قابل اعتماد می‌افزاید؛ لذا در نظر گرفتن پشتیبان، معیارهای اقتصاد چرخه‌ای سازگار با محیط‌زیست و نیز

* رایانامه نویسنده مسئول: morabbasi@gmail.com

^۱ CE: Circular Economy

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، در حالی که 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 اسیلون تقویت شده 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 می‌باشد. برای دستیابی به اهداف بالا، پژوهش حاضر به سوالات 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 می‌کند. 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

زیادی را در ادبیات مدیریت زنجیره 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 مورد مطالعه 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 می‌شوند 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 می‌شوند 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 هر یک 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 تأمین‌کنندگان در قالب تیمی از تأمین‌کنندگان مطمئن با اهداف

[۲۰]. گوویندیان و همکاران (۲۰۱۵) کاربردهای مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره MCDM را 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 شناسایی شده 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 رابطه‌های بین ماژول‌هایی که به تأمین‌کنندگان اختصاص می‌یابد، بر پیکربندی زنجیره تأمین تأثیر می‌گذارد. 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^۵ 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 شبیه‌سازی شده با پنج تأمین‌کننده و ۱۰۰ تقاضا با داده‌های قطعی حل نمودند [۶]. برخی از مطالعات نیز به انتخاب تأمین‌کننده پشتیبان^۶ پرداخته‌اند. ترابی (۲۰۱۵) یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای مختلط احتمالی دوهدفه را برای انتخاب تأمین‌کننده و مسئله تخصیص سفارش برای ساخت انعطاف‌پذیر ارائه می‌دهد [۹]. رضایی و همکاران (۲۰۲۰) برای بیان عدم اطمینان از مدل برنامه‌نویسی تصادفی دومرحله‌ای استفاده نمودند [۲۷].

برخی از پژوهشگران به موضوع تأمین‌کننده قابل‌اطمینان^۷ 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

سال ۲۰۱۷ اولین تحقیق در خصوص تشکیل تیم قابل‌اطمینان با در نظر گرفتن شبکه همکاری و مهارت خبرگان در قالب مدل^۱ RTFP 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^۲ MILP 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 تأیید کرد که مدل پیشنهادی می‌تواند 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 تأمین‌کنندگان 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^۳ 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 تیم‌سازی 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)^۴ 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

^۱ RTFP: Reliable team formation problem

^۲ MILP: Mixed integer linear programming

^۳ DSM: Design Structure Matrix

^۴ SS&OA

^۵ Relationship Between Suppliers

^۶ Backup Supplier Selection

^۷ Reliable supplier

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 گوویندان [۳۵] حداکثر از هفت معیار (آلودگی هوا، استانداردهای زیست محیطی، مواد اولیه سازگار با محیط زیست، طراحی محیط زیست، بسته بندی سازگار با محیط زیست، حمل و نقل دوستدار محیط زیست و فناوری پاک) برای معیارهای چرخه‌ای استفاده شده است. جدول (۱) دسته بندی معیارهای چرخه‌ای را از ۵ مطالعه اخیر نشان می‌دهد.

جدول (۱). دسته بندی معیارهای چرخه‌ای

نویسنده	زیرمعیار
گوویندان ۲۰۱۹	۱ آلودگی هوا
	۲ استانداردهای زیست محیطی
	۳ مواد اولیه سازگار با محیط زیست
	۴ طراحی محیط زیست
	۵ بسته بندی سازگار با محیط زیست
	۶ حمل و نقل دوستدار محیط زیست
	۷ فناوری پاک
کانز ۲۰۲۰	۱ آلودگی هوا ناشی از تولید و بازیافت محصولات
	۲ استفاده از مواد اولیه سازگار با محیط زیست و قابل بازیافت
	۳ رعایت استانداردها و مقررات زیست محیطی در فرآیند تولید و بازیافت محصولات
	۴ استفاده از فناوری‌های مناسب و پاک در تولید و بازیافت محصولات
	۵ استفاده از مواد قابل بازیافت در بسته بندی محصولات
مینا ۲۰۲۱	۱ انتشار گازهای گلخانه‌ای از فعالیت‌های تولید و بازیافت
	۲ مقررات و استانداردهای زیست محیطی
	۳ بسته بندی سبز
	۴ مواد اولیه سازگار با محیط زیست و قابل بازیافت
	۵ فناوری پاک
نصر ۲۰۲۱	۱ استفاده از مواد اولیه سازگار با محیط زیست و قابل بازیافت
	۲ استفاده از مواد قابل بازیافت در بسته بندی محصولات
	۳ طراحی محصولات برای استفاده مجدد
علوی ۲۰۲۱	۱ توجه به مصرف انرژی در محصولات تولیدی و بازیافتی
	۲ توجه به آلودگی هوا در محصولات تولیدی و بازیافتی
	۳ تولید محصولات با استفاده از مواد اولیه قابل بازیافت

معیارهای چرخه‌ای (دایره‌ای)

ارائه داد. آن‌ها تأمین کننده قابل اطمینان را در مدل به صورت پارامتر با عنوان ماکزیمم زمان تحویل قابل پذیرش برای یک تسهیل قابل اطمینان در نظر گرفتند [۱۲].

۲-۱- زنجیره تأمین چرخه‌ای و انتخاب تأمین کننده چرخه‌ای^۱

انتخاب تأمین کننده پایدار، در واقع همان مسئله انتخاب تأمین کننده کلاسیک است، با این تفاوت که ابعاد سه گانه پایداری (اجتماعی، زیست محیطی و اقتصادی) در انتخاب تأمین کننده پایدار در نظر گرفته می‌شود. در سال‌های اخیر در کنار معیارهای سه گانه 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 تأمین کننده چرخه‌ای فرآیند انتخاب تأمین کنندگان در یک زنجیره تأمین حلقه بسته است [۳۲]. اما مفروضات چرخه‌ای، با ترکیب این دو روش، منجر به انتخاب تأمین کننده چرخه‌ای و تخصیص سفارش CSSOA می‌شود. در این زمینه، تنها چند تحقیق انجام شده است [۱۵، ۱۶، ۳۲-۳۴]. از نظر گویندان و همکاران (۲۰۲۰) انتخاب تأمین کننده 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 قابل استفاده مجدد و تهیه مواد سازگار با محیط زیست منجر به کاهش ضایعات و استفاده از مواد خام بسته به انتخاب تأمین کننده چرخه‌ای مناسب می‌شود [۱۶]. انتخاب تأمین کننده چرخه‌ای (CSS) در مرور ادبیات ما محدود است. بررسی ادبیات ما نشان می‌دهد که فقط هشت مطالعه روی این مسئله متمرکز شده‌اند و دو مقاله از مدل ریاضی برای انتخاب تأمین کننده چرخه‌ای استفاده کردند. [۱۵ و ۱۶]. گوویندان و همکاران (۲۰۲۰) یک رویکرد ترکیبی دومارحله‌ای را برای انجام انتخاب تأمین کننده چرخه‌ای و تخصیص سفارش در یک زنجیره تأمین چرخه‌ای حلقه بسته^۲ 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. تأمین کنندگان شرکت مورد مطالعه با استفاده از سه معیار چرخه‌ای، کیفیت و تحویل به موقع از طریق رویکرد یکپارچه FANP و FDEMATEL مورد ارزیابی قرار گرفتند [۱۶]. نصر و همکاران (۲۰۲۱) یک چارچوب ترکیبی برای بهینه سازی یک شبکه زنجیره تأمین معکوس پایدار با در نظر گرفتن انتخاب تأمین کننده چرخه‌ای و تخصیص سفارش^۳ در حضور عدم قطعیت با سه معیار چرخه‌ای پیشنهاد کردند. او یک رویکرد برنامه ریزی

^۱ CSC&CSS: Circular supply chain and circular supplier selection

^۲ CLSC

^۳ CSS&OA

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 منتقل شده را داشته باشد. بر اساس چارچوب MOA، توانایی گیرنده دانش برای جذب دانش در مدل پیشنهادی به صورت ضرب در توانایی جذب دانش، تمایل و فرصت تعریف شده است [۳۶]. باین وجود، با توجه به توانایی‌های متفاوت صاحب‌دراختراک دانش برای به اشتراک گذاری/جذب دانش، قابلیت اشتراک دانش جمعی برابر با حداقل توانایی اشتراک دانش صاحب دانش و توانایی جذب دانش گیرنده دانش تعریف می‌شود و به صورت معادله ۱ محاسبه می‌شود. همچنین میزان دانش کسب‌شده توسط یکی از تأمین‌کنندگان تیم در نتیجه انجام وظایف محوله به سطح تخصص اولیه وی و ضریب افزایش سطح تخصص در هر پروژه (L) بستگی دارد. بنابراین، میزان دانش به دست آمده در یک پروژه برابر است با ضرب سطح تخصص اولیه یک فرد در ضریب افزایش سطح تخصص در هر پروژه. از این رو، اشتراک دانش بین یک تأمین‌کننده تیم و هم‌تیمی آن در بخش عملکردی با ضرب دانش به دست آمده توسط اعضای تیم پروژه در یک پروژه در توانایی جمعی اشتراک دانش بین آن‌ها محاسبه می‌شود و به صورت معادله ۱ نوشته می‌شود.

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

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

۲-۳- رویکردهای مدل‌سازی ریاضی هم‌زمان زنجیره تأمین و معماری محصول^۲

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. به عنوان مثال، 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.

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 اشتراک گذاری 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^۱، اعضای تیم پروژه توانایی‌ها و انگیزه‌های اشتراک دانش متفاوتی خواهند داشت که ممکن است بر اشتراک دانش تأثیر بگذارد. در میان آن‌ها باین حال، علیرغم تمایل و توانایی صاحب دانش برای به اشتراک گذاری 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 اشتراک گذاری 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 به‌طور کلی هزینه کمتر و موفقیت شود. با توجه به تفاوت در توانایی‌های اشتراک دانش کاندیداهای تیم و به تبع آن تأثیرات متفاوت آن‌ها بر عملکرد کل تیم از یک سو 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 استفاده شده است که روشی مناسب

² 2DCE: 2 dimension concurrent engineering

¹ MOA

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

نویسنده	مدل ریاضی	جزوه	مجموع چرخه‌های (دایره‌ای)	هزینه	تأمین کنندگان پشتیبان	قابلیت اطمینان	روابط بین تأمین کنندگان	تخصیص سفارش	تابع هدف		روش حل		ابعاد		محدوده مسئله		
									تک‌هدفه	چندهدفه	دقیق	غیر دقیق		مجموعی	زنجیره تأمین	قطعی	غیرقطعی
												فرآیند کاری	ابتکار و				
المرغی و محمودی [36] (۲۰۰۹)	✓	✓	✓	✓					✓			✓	✓	✓	✓	✓	
نپال و همکاران (۲۰۱۲)	✓	✓	✓	✓					✓	✓			✓	✓		✓	
فتحیان و همکاران [18] (۲۰۱۷)	✓	✓			✓	✓	✓			✓				✓	✓		
حسینی و اخوان [17] (۲۰۱۷)	✓	✓		✓							✓			✓		✓	
گویندان و همکاران [17] (۲۰۲۰)	✓	✓	✓	✓				✓						✓	✓		
نصر و همکاران (۲۰۲۱)	✓	✓	✓	✓				✓						✓	✓		
سجادیان و همکاران [۱۹] (۲۰۲۱)	✓	✓	✓	✓	✓		✓			✓	✓			✓	✓		
تحقیق حاضر	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	

تأمین کنندگان قابل اطمینان و مطمئن و چرخه‌های 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 وسویور و اکسل استفاده شده 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 تأمین کنندگان قابل اطمینان 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.

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 تأمین کنندگان چرخه‌ای و دو مطالعه به پشتیبان پرداخته است، همچنین تنها یک مقاله هم‌زمان به روابط بین تأمین کنندگان و شبکه همکاری و یک مقاله به اشتراک دانش پرداخته است؛ همچنین هیچ مقاله‌ای هم‌زمان اشتراک دانش، هزینه، معیارهای چرخه‌ای و شبکه همکاری قابل اعتماد را در نظر نگرفته است. اکثراً از روش حل دقیق استفاده کرده‌اند؛ لذا هرچند در مسائل دنیای واقعی این مورد نیاز 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 کمی به علت استفاده از مدل ریاضی است. در این تحقیق روش تحقیق از نوع تحلیلی است. هدف، ارائه مدل ریاضی برای انتخاب تأمین کنندگان قابل اطمینان چرخه‌ای و تخصیص سفارش به ماژول‌ها برای طراحی شبکه تأمین کنندگان است؛ لذا پرسش اصلی تحقیق این است که چگونه با استفاده از مدل ریاضی با اهداف متناقض برای محصول ماژولار، هم‌زمان شبکه

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. $I = ES \cup IS$ 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 و 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، هر چند می‌توان به یک تأمین‌کننده چند ماژول واگذار کرد. میزان سابقه همکاری میان دو تأمین‌کننده به صورت وزن همکاری در نظر گرفته می‌شود به گونه‌ای که هر چه 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 می‌باشد در تیم اصلی و پشتیبان، هر دو تأمین‌کنندگان قابل اعتماد و غیرقابل اعتماد می‌توانند منصوب شوند. با توجه به نوع تأمین‌کننده (قابل اعتماد یا غیرقابل اعتماد) 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 تأمین‌کنندگان غیر قابل‌اطمینان و اعتماد، احتمال برابر Q است؛ لذا، سه نوع رابطه قابل اعتماد- قابل اعتماد، قابل اعتماد- غیرقابل اعتماد، غیرقابل اعتماد- غیرقابل اعتماد در مدل حاضر وجود دارد. نمادگذاری مدل (اندیس‌ها و مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرها) برای فرموله کردن مدل در ادامه معرفی شده است.

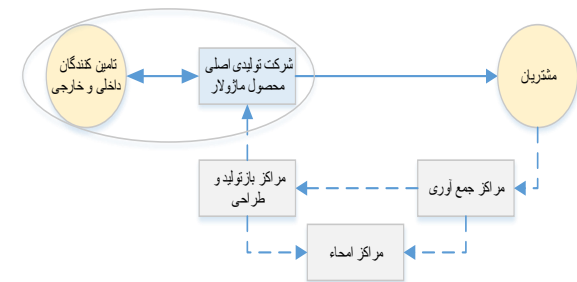
در شکل (۱) مراحل تحقیق ارائه شده است.



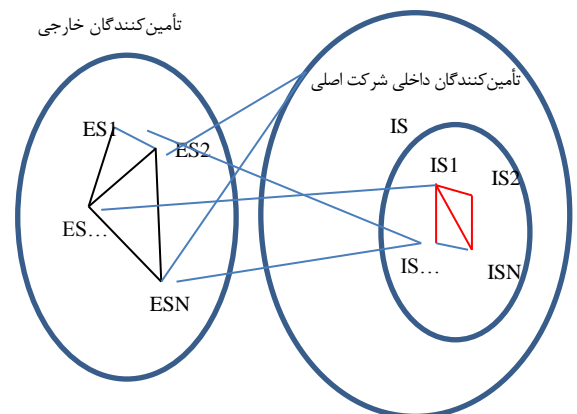
شکل (۱). مراحل تحقیق

برای درک بهتر مسئله مورد مطالعه، ساختار شبکه زنجیره تأمین پیشنهادی به صورت شماتیک در شکل ۲ نشان داده شده 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 داده شده است.



تأمین‌کنندگان خارجی



شکل (۲). ساختار شبکه زنجیره تأمین پیشنهادی

۴-۲ مدل ریاضی پیشنهادی

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

نمادگذاری مدل ریاضی

اندیس‌ها:

عنوان	تعریف
i	$i \in \{1, 2, \dots, I\} = IS \cup ES$
is	$is \in \{1, 2, \dots, IS\}$
es	$es \in \{1, 2, \dots, ES\}$
p	$m \in \{1, 2, \dots, P\}$
s	$s \in \{1, 2, \dots, S\}$
cr	$cr \in \{1, 2, \dots, CR\}$

پارامترها:

عنوان	تعریف
W_{ij}	ماتریس ارتباطات بین تأمین‌کنندگان i و j
N_p	تعداد تأمین‌کنندگان تیم اصلی برای هر ماژول p
O_{mc}	سفارش موردنیاز مشتری c برای ماژول p
CAP_{pi}	ظرفیت موجود هر تأمین‌کننده i برای ماژول m
CP_{pi}	هزینه پیشنهادی هر تأمین‌کننده m برای هر ماژول m
B	بودجه کل
KS_s	حداقل تعداد مهارت برای تأمین‌کنندگان اصلی s
KKT_i	حداقل تعداد معیار چرخه‌ای برای تأمین‌کنندگان اصلی i
SA_{si}	اگر تأمین‌کننده آدارای مهارت موجود s است یک وگرنه صفر
PS_{ps}	مهارت s موردنیاز برای ماژول m
$SA2_{si}$	اگر تأمین‌کننده آدارای سطح مهارت موجود s است عددی بین ۱ تا ۱۰ وگرنه صفر
Q_i	$0 \leq Q_i \leq 1$
$Sign(Q_i)$	1 If $0 < Q_i \leq 1$ 0 If $Q_i = 0$
O_{pc}	ظرفیت (تقاضا یا سفارش) موردنیاز مشتری c برای ماژول m
CAP_{pi}	ظرفیت موجود هر تأمین‌کننده i برای ماژول m
Q_i	احتمال قابلیت اطمینان تأمین‌کننده i
$MC_{p,cr}$	معیارهای دایره‌ای cr موردنیاز برای ماژول m
$CI_{cr,i}$	اگر تأمین‌کننده من معیارهای دایره‌ای موجود را داشته باشد.

L	$0 < L < 5$	افزایش ضریب سطح تخصص در نتیجه انجام پست تخصصی
KK_{pij}	Positive	قابلیت اشتراک دانش جمعی افراد j و i از پست p
E_{pi}	Positive integer	سطح تخصص اولیه فرد i از پست p
A_{ij}	$0 < A_{ij} < 1$	توانایی جذب دانش تأمین‌کنندگان i از پست p
B_{ij}	$0 < B_{ij} < 1$	توانایی به اشتراک‌گذاری دانش تأمین‌کنندگان i از پست p
V_{ij}	$0 < V_{ij} < 1$	تمایل به اشتراک دانش تأمین‌کنندگان i از پست p
U_{ij}	$0 < U_{ij} < 1$	انگیزه تسهیم دانش تأمین‌کنندگان i از پست p
W_{ij}	$0 < W_{ij} < 1$	فرصت تسهیم دانش/جذب تأمین‌کنندگان i از پست p

متغیرهای تصمیم:

عنوان	تعریف
Y_i	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)
YM_{pi}	اگر تأمین‌کننده اصلی i برای ماژول m انتخاب شود برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است.
YB_{pi}	اگر تأمین‌کننده پشتیبان i برای ماژول m انتخاب شود برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است.
RMM_{ij}	اگر ارتباطی بین تأمین‌کنندگان اصلی i و j وجود داشته باشد برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است.
RMB_{ij}	اگر ارتباطی بین تأمین‌کنندگان اصلی i و پشتیبان j وجود داشته باشد برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است.
RBB_{ij}	اگر ارتباطی بین تأمین‌کنندگان پشتیبان i و j وجود داشته باشد برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است.
X_{pi}	چند برابر ظرفیت موردنیاز تأمین‌کننده اصلی i برای هر ماژول p تا به‌عنوان تأمین‌کننده اصلی انتخاب گردد.
AYM_{pi}	مقدار سفارش ماژول p تخصیص یافته به تأمین‌کننده اصلی i را نشان می‌دهد.
AYB_{pi}	مقدار سفارش ماژول p تخصیص یافته به تأمین‌کننده پشتیبان i را نشان می‌دهد.

۴-۲- فرمول‌بندی مدل

$$K_s \leq \sum_{i \in I} SA_{si} * Y_i \quad \forall s \in S \quad (12)$$

$$Y_i \leq \sum_{i \in I} SA_{si} \quad \forall i \in I \quad (13)$$

$$PS_{ps} \leq \sum_{i \in I} SA_{si} * YM_{pi} \quad \forall s \in S \& p \in P \quad (14)$$

$$PS_{ps} \leq \sum_{i \in I} SA_{si} * YB_{pi} \quad \forall s \in S \& p \in P \quad (15)$$

$$KC_{cr} \leq \sum_{i \in I} CI_{cri} * Y_i \quad \forall cr \in CR \quad (16)$$

$$Y_i \leq \sum_{cr \in CR} CI_{cri} \quad \forall i \in I \quad (17)$$

$$MC_{p cr} \leq \sum_{i \in I} CI_{cri} * YM_{pi} \quad \forall cr \in CR \& p \in P \quad (18)$$

$$MC_{p cr} \leq \sum_{i \in I} CI_{cri} * YB_{pi} \quad \forall cr \in CR \& p \in P \quad (19)$$

$$\sum_{i \in I} (AYM_{pi} * YM_{mi}) \geq O_{pc} \quad \forall p \in P \& \forall c \in C \quad (20)$$

$$\sum_{i \in I} (AYB_{pi} * YM_{pi}) \geq O_{pc} \quad \forall p \in P \quad (21)$$

$$YM_{pi} \leq CAP_{pi} \quad \forall p \in P \& \forall i \in I \quad (22)$$

$$YB_{pi} \leq CAP_{pi} \quad \forall p \in P \& \forall i \in I \quad (23)$$

$$AYM_{pi} * YM_{pi} \leq CAP_{pi} \quad \forall p \in P \& \forall i \in I \quad (24)$$

$$AYB_{pi} * YM_{pi} \leq CAP_{pi} \quad \forall p \in P \& \forall i \in I \quad (25)$$

$$YM_{pi} \leq \text{ceil}(Q_i) \quad \forall p \in P \& \forall i \in I \quad (26)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{p \in P} C_{pi} * YM_{pi} \leq B \quad \forall i \in I \& p \in P \quad (27)$$

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

مدل پیشنهادی، انتخاب تأمین‌کنندگان قابل اطمینان چرخه‌ای و تخصیص سفارش^۱ RCSS&OA نامیده می‌شود.

این بخش، مدل مورد استفاده در حل مسائل تیم سازی را پیشنهاد می‌کند. مدل پیشنهادی شامل چهار هدف متناقض هست. به‌عنوان مثال 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

$$\text{Max } Z_1 = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (G_{ij} * (RMM_{ij} + RMB_{ij} + RBB_{ij})) \quad (1)$$

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{i \in I} \sum_{p \in P} C_{pi} * YM_{pi} \quad (2)$$

$$\text{Max } Z_3 = \sum_{i \in I} \sum_{p \in P} \sum_{cr \in CR} (CI_{cri} * YM_{pi}) \quad (3)$$

$$\text{Max } Z_4 = \sum_{i \in I} \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} (L * KK_{pij} * IE_{pi} * YM_{pi}) \quad (4)$$

ب. محدودیت‌ها:

$$\sum_{i \in I} YP_{pi} = Np \quad \forall p \in P \quad (5)$$

$$0 < \sum_{i \in I} YB_{pi} \leq 2 \quad \forall p \in P \quad (6)$$

$$Y_i = \sum_{p \in P} YM_{pi} + \sum_{p \in P} YB_{pj} \quad \forall i \in I \quad (7)$$

$$YB_{mp_1 i} * YB_{p_2 i} \leq 0 \quad \forall i \in I \& p_1 \& p_2 \in P \& p_1 = p_2 \quad (8)$$

$$2 * RMM_{ij} \leq \text{sign}(Q_i) * \sum_{p \in P} YM_{pi} + \text{sign}(Q_j) * \sum_{p \in P} YM_{pj} \quad \forall p \in P \& i < j \quad (9)$$

$$2 * RMB_{ij} \leq \text{sign}(Q_i) * \sum_{p \in P} YM_{pi} + \text{sign}(Q_j) * \sum_{p \in P} YB_{pj} \quad \forall p \in P \& i < j \quad (10)$$

$$2 * RBB_{ij} \leq \text{sign}(Q_i) * \sum_{p \in P} YB_{pi} + \text{sign}(Q_j) * \sum_{p \in P} YB_{pj} \quad \forall p \in P \& i < j \quad (11)$$

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

به تأمین کننده، بیش از ظرفیت موجود تأمین کننده برای تأمین کنندگان اصلی، و محدودیت (۲۵) برای تأمین کنندگان پشتیبان جلوگیری می کند. محدودیت (۲۶) تأمین کنندگان غیرقابل اعتماد را برای تأمین کنندگان اصلی حذف می کند. محدودیت (۲۷) محدودیت بودجه کل را برای محصول در نظر می گیرد.

۴-۳- روش حل پیشنهادی

روش محدودیت اپسیلون تقویت شده به عنوان الگوریتم دقیق، توسط ماوروتاس و فلوریوس [۳۸] و روش ال پی متریک برای یافتن راه حل های بهینه سراسری برای مسائل با اندازه کوچک و مقایسه نتایج با روش محدودیت اپسیلون استفاده می شود.

یکی از روش های متداول حل دقیق مسائل چندهدفه روش محدودیت اپسیلون تقویت شده می باشد. در این روش حل دقیق، مقدار بهینه اهداف مثل لکسیکوگراف جداگانه محاسبه می شود و مقادیر جدول دادوستد تولید می گردد، با این جدول بدترین و بهترین مقادیر هدف ها و بازه ی هر کدام تعیین و به مقادیر مساوی با نقاط مشخص تقسیم می شود در ادامه یکی از اهداف به عنوان هدف اصلی و دیگر اهداف در محدودیت ها قرار می گیرند. مدل حل می گردد در تکرارهای متوالی و در هر تکرار مقادیر سمت راست اهداف موجود در محدودیت ها افزایش می یابد تا در نهایت جواب های غیر مسلط تعیین می گردد. برای جزئیات و شرح این روش به مقاله ماورتاز و فلوریز [۳۸] مراجعه نمایید

۵- روش های حل، نتایج محاسباتی، تحلیل و ارزیابی مدل ها

در این مقاله چهار هدف در نظر گرفته شده است تا به انعطاف پذیری و واقعی تر شدن مدل کمک کند. در این مسئله اهداف در تناقض با یکدیگر هستند و تعریف مجموعه جواب غیرمسلط ضروری می باشد، به طوری که 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 چرخه ای بیشتر، هزینه بیشتر خواهد بود. مدل چهارهدفه با استفاده از روش حل دقیق محدودیت اپسیلون تقویت شده و ال پی متریک، حل گردید.

در این تحقیق برای تعیین وزن های روش ال پی متریک از تکنیک مقایسات زوجی توسط اکسپرت چوپیس استفاده گردیده است و نرخ ناسازگاری مقدار قابل قبول $0/084$ به دست آمد. لذا وزن ها به صورت $W1=W2=W3=W4=0/25$ به دست آمد.

اختصاص داده شوند. محدودیت ۷ مجموعه تأمین کنندگان منصوب نهایی با y_i را تعریف می کند. مطابق با مفروضات مدل، یک تأمین کننده در هر زمان تنها به یک تأمین کننده اختصاص داده می شود. بنابراین محدودیت ۸ اختصاص یک تأمین کننده به اصلی و پشتیبان را به طور هم زمان حذف می کند. بسته به نوع تأمین کنندگان مدل (اصلی یا پشتیبان) سه نوع رابطه وجود دارد. سه متغیر باینری RMM، RMB و RBB را می توان برای روابط در نظر گرفت. روابط بین دو تأمین کننده اصلی؛ اصلی با پشتیبان و پشتیبان با پشتیبان. محدودیت های ۹ - ۱۱ برای این سه رابطه تعریف شده است.

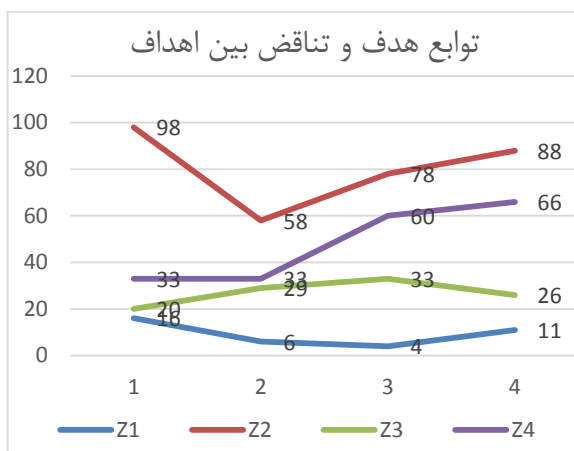
در طراحی تیم تأمین کنندگان حداقل تعداد مورد نیاز تأمین کننده برای هر مهارت مورد نیاز است. محدودیت ۱۲ این محدودیت را در نظر می گیرد. محدودیت ۱۳ تأمین کنندگان غیر ماهر را از تیم حذف می کند. مهارت های مورد نیاز توسط PSps و مهارت های موجود توسط SAsi برای هر تأمین کننده تعریف می شوند. بنابراین، محدودیت ۱۴ این پارامتر را در تأمین کنندگان اصلی و محدودیت ۱۵ برای تأمین کنندگان پشتیبان تعریف کرد.

محدودیت های تأمین کننده چرخه ای: ۱۶-۱۹

در مدل پیشنهادی، مانند مقاله گویندیان [۳۵] از هفت معیار (آلودگی هوا، استانداردهای زیست محیطی، مواد اولیه سازگار با محیط زیست، طراحی محیط زیست، بسته بندی سازگار با محیط زیست، حمل و نقل دوستدار محیط زیست و فناوری پاک) برای چرخه استفاده شده است. محدودیت (۱۶) حداقل تعداد الزامات تأمین کنندگان را برای هر معیار چرخه ای تعریف می کند. محدودیت (۱۷) تأمین کنندگان غیر چرخه ای را برای طراحی شبکه حذف می کند. موضوع دیگر معیار چرخه ای مورد نیاز برای هر ماژول توسط $MCp \text{ cr}$ است. بنابراین، محدودیت (۱۸) این پارامتر را برای طراحی شبکه تأمین کننده در نظر می گیرد و تأمین کنندگان را با معیارهای چرخه ای خاص، که توسط $MCp \text{ cr}$ در تأمین کنندگان اصلی تعریف شده است، اختصاص می دهد، در حالی که محدودیت (۱۹) این محدودیت را برای تأمین کنندگان پشتیبان در نظر می گیرد.

با توجه به محدودیت (۲۰)، مقدار کل سفارش تخصیص یافته به تأمین کنندگان مختلف برای یک ماژول برابر و بیشتر از سفارش درخواست شده برای تأمین کنندگان اصلی و محدودیت (۲۱) برای تأمین کننده پشتیبان است. در واقع محدودیت ۲۰ و ۲۱ میزان بهینه تخصیص سفارش را برای تأمین کننده اصلی و پشتیبان مشخص می نمایند. محدودیت (۲۲) تأمین کنندگان بدون ظرفیت را برای تأمین کنندگان اصلی حذف می کند و محدودیت (۲۳) این محدودیت را برای تأمین کنندگان پشتیبان در نظر می گیرد. محدودیت (۲۴) از مقدار سفارش تخصیص یافته

جدول (۳) تضاد بین اهداف را نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال اهداف ۱ و ۳، ۱ و ۲، ۲ و ۴، ۳ و ۴ 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 تأیید 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.

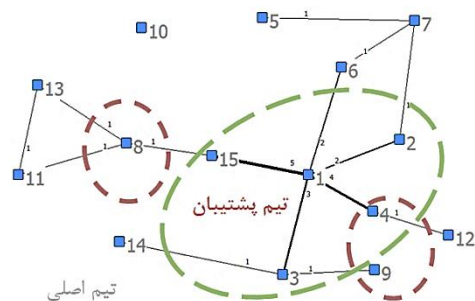


شکل (۶). تناقض بین اهداف

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 مورد استفاده قرار می‌گیرد. فیلم‌برداری وضوح بالا و مجهز به موتور زوم متغیر، نمایشگر حرارتی کیفیت بالا که از جمله ویژگی‌های سیستم نظارت الکترواپتیکی است و توسط یک واحد اصلی و مرکزی کنترل می‌شود و مجهز به دوربین‌های حرارتی و مرئی می‌باشد.

(۲) نتایج: پس از حل مدل پیشنهادی RCSS&OA، بهترین تأمین‌کنندگان چرخه‌ای قابل اطمینان به دست آمد. تیم اصلی، اعضای تیم اصلی با توجه به ماژول خود، YM بودند. از این رو، تیم تأمین‌کنندگان اصلی و پشتیبان $Y_M = [1,2,3,4,15]$ و $Y_I = [1,2,3,4,8,9,15]$ به دست آمد. طبق نتایج، تمام مفروضات و محدودیت‌ها در این مطالعه پوشش داده شده است. همچنین، می‌توان دریافت که اولین اولویت انتخاب یک تأمین‌کننده از تأمین‌کنندگان معتبر چرخه‌ای بود و مدل بهترین پشتیبان‌گیری را برای هر یک 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 قابل اعتماد (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	1	2	3	4
دو مهارت	S.1	S.1 s.2	S.1	S.1
تأمین‌کنندگان اصلی				
تأمین‌کنندگان پشتیبان				

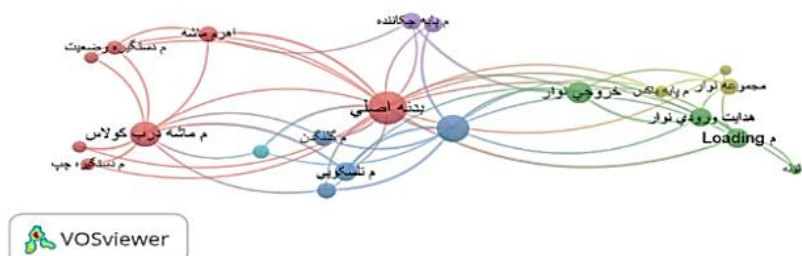
شکل (۵). تأمین‌کنندگان با قابلیت‌ها و مهارت‌ها و موقعیت اصلی و پشتیبان

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 افسیلون 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

وسویر 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 وسویر

قبلی و ارتباطات یا با نظر مستقیم مدیریت انتخاب می‌شدند. با توجه به این‌که مدل پیشنهادی کلیه 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 افسیلون تقویت شده 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 دوربین‌های الکترواپتیکال در ایران، نشان‌دهنده کاربرد و کارایی آن است.

۵-۲- روش اعتبارسنجی نتایج

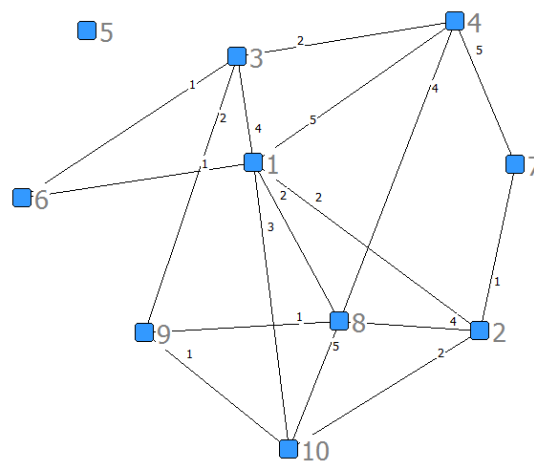
اعتبارسنجی نتایج فرایندی است که جهت اعتماد بخشی به مدل و خروجی‌های آن پس از اجرای الگوریتم‌ها به کار گرفته می‌شود؛ بنابراین اعتبارسنجی بخش مهم و تأثیرگذاری برای حصول اطمینان از معتبر بودن مدل و صحت عملکرد این‌که مدل چه درجه‌ای از جهان واقعی را با موفقیت شبیه‌سازی می‌کند می‌باشد. مدل‌ها و الگوریتم‌های 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. از آنجاکه 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.

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

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 وسویر به دست آمد با دو مهارت و دو معیار چرخه‌ای در نظر گرفته شد. در شکل (۸) 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

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این مقاله در مورد مسئله تشکیل یک شبکه از تأمین کنندگان معتبر و قابل اعتماد و قابل اطمینان و چرخه‌ای برای تخصیص و واگذاری مازول‌ها، 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 تأمین کنندگان قابل اطمینان چرخه‌ای را تشکیل می‌دهد. بر اساس مراحل تحقیق، ابتدا یک محصول مازولار انتخاب گردید و تعداد مازول‌ها با خوشه‌بندی مشخص شد. پس از آن 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 می‌تواند به‌طور مؤثر شبکه تأمین کنندگان قابل اطمینان 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 افسیلون تقویت‌شده و ال‌پی‌متریک حل گردید و تحلیل حساسیت نیز انجام گردید. یکی از مزیت مدل ما این است که هم‌زمان سوابق تأمین کنندگان و شبکه همکاری، اشتراک دانش و معیارهای چرخه‌ای را در نظر گرفت. همچنین می‌توان در تحقیقات آتی فزاینده طراحی و زمان را در نظر گرفت. یکی از فرضیات این مدل در دسترس بودن تأمین‌کننده پشتیبان در طول پروژه است. با این حال، در دنیای واقعی، پشتیبان لحاظ نمی‌شود. در مطالعات آینده می‌توان هزینه کل شبکه را نیز در نظر گرفت؛ همچنین دیگر شایستگی‌های تأمین کنندگان 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 مازول نیز مورد مطالعه قرار گیرد، زیرا تعیین تعداد بهینه مازول‌ها در کل زنجیره تأمین مؤثر است. با توجه به اینکه [۳۹] NP-Hard بودن مسئله را اثبات کرد است؛ بنابراین، پیشنهاد می‌گردد برای حل از انواع متداول الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری استفاده گردد و نتایج مقایسه گردد. همچنین می‌توان استراتژی تعداد بهینه مازول‌ها و زیرسیستم‌های محصول را نیز در مدل وارد کرد.

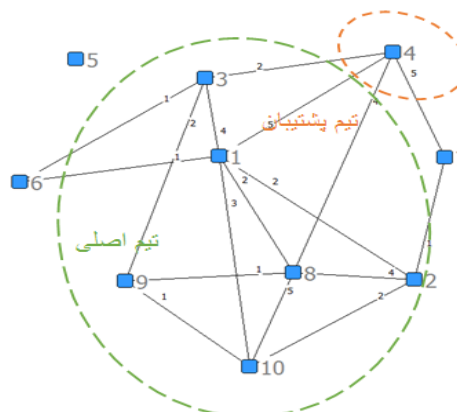
ب) در پاره‌ای از موارد روش الف چندان کارگشا نخواهد بود و می‌بایست به روش دیگری که مستقل از رویکرد بهینه‌سازی است روی آورد. روش دیگر پیاده‌سازی مدل‌های توسعه داده‌شده در یک مجموعه واقعی یا تحقیقاتی و ارزیابی نتایج حاصل از مدل با نظر خبرگان آن مجموعه است. از سوی دیگر باید در نظر داشت که مدل‌های بهینه‌سازی 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 تأیید گردید. حل این مسئله از طریق نرم‌افزار گمز 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 مورد استفاده در نتایج، آنالیز حساسیت بر روی مدل انجام گرفت. لذا تحلیل حساسیت بر روی پارامتر تعداد تأمین کنندگان اصلی مدل انجام گردید. طبق جدول مشاهده گردید با افزایش N_p در اغلب مواقع مدل غیر شدنی می‌گردد. جدول (۴) نتایج تحلیل حساسیت را نشان می‌دهند.

جدول (۴). نتایج تحلیل حساسیت

شدنی/نشدنی	N_p تعداد تأمین کنندگان تیم اصلی برای هر مازول
شدنی	$p_1=1, p_2=2, p_3=1, p_4=1, p_5=1, p_6=1$
شدنی	$p_1=1, p_2=2, p_3=1, p_4=1, p_5=1, p_6=1$
شدنی	$p_1=2, p_2=2, p_3=1, p_4=1, p_5=1, p_6=1$
نشدنی	$p_1=2, p_2=2, p_3=2, p_4=1, p_5=1, p_6=2$
نشدنی	$p_1=4, p_2=3, p_3=1, p_4=2, p_5=1, p_6=1$
نشدنی	$p_1=5, p_2=4, p_3=3, p_4=2, p_5=1, p_6=1$



شکل (۹). بهترین تأمین کنندگان قابل اعتماد چرخه‌ای

۷- مراجع

- [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.
- [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. Ghalekhondabi, 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: Procurement 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.

- [32] D. Kannan, H. Mina, S. Nosrati-Abarghoee, 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. Esmaili, 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.
- [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. Ghalekhondabi, 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.