

مدل سازی چندهدفه سفارش همزمان اقلام و انتخاب تامین کننده در شرایط فازی با رویکردهای اوزان معکوس و برنامه ریزی آرمان

بهنام جلالت^۱، داود محمدی تبار^{۲*}

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

رسید مقاله: ۲۰ آذر ۱۴۰۰

پذیرش مقاله: ۱۹ اردیبهشت ۱۴۰۱

چکیده

انتخاب تامین کننده نقش مهمی در موفقیت کل زنجیره تامین دارد و ارتباط نزدیک آن با تصمیمات کنترل موجودی منجر به تصمیم گیری یکپارچه این دو حوزه شده است. با توجه به این که در کاربردهای واقعی عموماً با چندین قلم کالا مواجه هستیم سفارش دهی هماهنگ اقلام برای مدیریت موجودی مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله، مدل سازی و حل مساله چند هدفه انتخاب تامین کننده و سفارش همزمان اقلام در شرایط فازی ارائه شده است. اهداف مدل عبارت اند از کمینه سازی هزینه هایی از قبیل سفارش دهی، خرید، نگهداری و خرابی به همراه بیشینه سازی مطلوبیت خرید در شرایط فازی. مساله با استفاده از دو رویکرد چند هدفه فازی بر اساس روش های برنامه ریزی غیرخطی فازی وزن معکوس و برنامه ریزی فازی آرمان مدل سازی شده است. نتایج دو رویکرد از طریق حل مثال عددی در نرم افزار گمز تشریح شده است. مقایسه دو رویکرد بر اساس شاخص نسبت میزان عضویت اهداف به اولویت وزنی نشان داد که روش اوزان معکوس عملکرد نسبتاً بهتری در مقایسه با روش برنامه ریزی آرمان دارد. براساس تحلیل حساسیت نتایج، افزایش هزینه عمده سفارش موجب افزایش زمان سیکل پایه و نزدیک تر شدن ضرایب سیکل اقلام می شود. بنابراین هرچه هزینه عمده سفارش بزرگ تر باشد توجه اقتصادی بیشتری در سفارش همزمان اقلام وجود دارد.

کلمات کلیدی: سفارش همزمان اقلام، انتخاب تامین کننده، بهینه سازی فازی، تصمیم گیری چندهدفه.

۱ مقدمه

در عمل و در بسیاری از شرکت ها مدیریت مستقل تعداد زیاد اقلام مقرون به صرفه نیست و از طرف دیگر وابستگی های متعددی میان تصمیمات موجودی اقلام وجود دارد. یکی از رویکردهای مهم مدل سازی برای مدیریت اقلام متعدد موجودی، مساله سفارش همزمان اقلام است. در این رویکرد هزینه های سفارش دهی به دو

* عهده دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: d_mohammaditabar@azad.ac.ir

دسته هزینه عمده و هزینه جزیی سفارش تقسیم بندی می شود. هزینه عمده سفارش میان اقلام موجود در یک سفارش مشترک است و به همین سبب اگر تعداد بیشتری از اقلام هم زمان سفارش داده شوند موجب صرفه جویی در هزینه های سفارش دهی عمده می شود [۱]. در صورتی که هزینه جزیی سفارش به ازای هر نوع قلم کالایی که در یک سفارش قرار دارد محاسبه می شود. در مدل سازی سفارش هم زمان اقلام، مشخص می شود که کدام اقلام باید با هم سفارش داده شوند و همچنین اندازه انباشته سفارش آنها چقدر باید باشد. مساله JRP یک رویکرد پر کاربرد برای مدیریت اقلام متعدد موجودی است و در حالت کلاسیک به صورت تک منبع توسعه یافته است. اثرات متقابل میان تصمیمات مدیریت موجودی و انتخاب تامین کننده، زمینه ساز تحقیقات زیادی در زمینه مدل سازی یکپارچه این دو حوزه شده است. از این رو در مقالات متعددی تلاش شده است که مدل های مختلف کنترل موجودی که در گذشته به صورت تک منبع مدل سازی می شده اند را در حالت چند تامین کننده مدل سازی و حل کنند. از جمله تصمیماتی که باید اتخاذ شود عبارت است از انتخاب تامین کننده، تخصیص سفارش، تعیین اندازه انباشته و زمان بندی سفارش ها.

از طرفی در استراتژی های جدید خرید و تولید، تامین کنندگان نقش کلیدی در دستیابی به موفقیت رقابتی شرکت ها و سازمان ها بازی می کنند و ارزیابی و انتخاب صحیح تامین کنندگان سهم فراوانی در کاهش ریسک های مرتبط با امین، افزایش سطح کیفی و کاهش زمان تحویل کالاهای مورد امین ایفا می نماید. از این رو انتخاب درست تامین کنندگان، جزء اساسی این استراتژی هاست؛ بنابراین بخش خرید، به دلیل سهم عملکرد تامین کننده در هزینه، کیفیت، تحویل و خدمات، می تواند نقش کلیدی در بهره وری و اثربخشی سازمان در دستیابی به اهداف زنجیره تامین ایفا کند. مساله انتخاب تامین کننده یک مساله چندهدفه است که هم زمان معیارهای متعددی را برای انتخاب و ارزیابی تامین کنندگان لحاظ می کند. بنابراین نگاه برخی از مدل های کنترل موجودی که صرفا اجزای هزینه ای را در مدلسازی چند تامین کننده در تابع هدف مساله خود لحاظ کرده اند نمی تواند به درستی پاسخگوی الزامات مساله انتخاب تامین کننده باشد و لازم است که اهداف متعدد دیگر نیز هم زمان بررسی شود.

در خصوص مساله کلاسیک سفارش هم زمان اقلام نیز در گذشته عموما به صورت تک تامین کننده مدل سازی شده است و بیشتر توجه محققین به مدلسازی حالات مختلف سفارش هم زمان اقلام، توسعه روش های حل مدل ها و تحلیل میزان صرفه جویی حاصل از سفارش هم زمان اقلام معطوف بوده است. اولین مدل هایی که ترکیب مساله سفارش هم زمان اقلام و مساله انتخاب تامین کننده را انجام دادند با عنوان مساله سفارش هم زمان اقلام با چند تامین کننده شناخته می شوند. مدل های توسعه یافته عموما از یک هدف که در برگیرنده هزینه های موجودی بودند تشکیل می شد و عملا مطلوبیت و معیارهای تامین کننده در آنها لحاظ نشده است. همچنین عمده تحقیقات انجام گرفته در خصوص ترکیب مساله سفارش هم زمان کالا با انتخاب تامین کننده در فضای قطعی تصمیم مدنظر واقع شده است.

بنابراین این تحقیق به دنبال پر کردن این شکاف تحقیق است و مساله چندهدفه سفارش هم زمان اقلام و انتخاب تامین کننده را در فضای تصمیم گیری فازی مورد ملاحظه قرار می دهد. عدم قطعیت می تواند در اهداف

یا پارامترها و یا هر دو رخ بدهد. در مدل حاضر، معیارهایی از قبیل هزینه سفارش و نگهداری، هزینه خرید، هزینه کالای معیوب و سطح کیفیت در توابع هدف و محدودیت‌هایی همچون بودجه خریدار، ظرفیت تامین‌کننده و ظرفیت انبارش خریدار، مدنظر قرار گرفته می‌شود. برای حل مدل فازی توسعه‌یافته از دو رویکرد برنامه‌ریزی آرمان فازی و همچنین رویکرد برنامه‌ریزی غیرخطی فازی اوزان معکوس استفاده‌شده و نتایج دو رویکرد باهم مقایسه شده‌اند. در ادامه به بررسی پیشینه تحقیق می‌پردازیم.

در ادامه مقاله و در بخش دوم مروری بر پیشینه تحقیق ارائه شده است. توسعه مدل و روش حل بر اساس هر دو رویکرد اوزان معکوس و برنامه‌ریزی آرمان در بخش سوم تشریح شده است. بخش چهارم به ارائه مثال عددی و تحلیل نتایج اختصاص دارد. در نهایت در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادهای تحقیقات آتی ارائه می‌شود.

۲ مروری بر پیشینه تحقیق

آکسوی و ارنکوچ [۲] بررسی جامعی در مدل‌های موجودی چندکالایی با توجه هزینه‌های سفارش مشترک انجام دادند. هدف این مدل‌ها به‌طور معمول کمینه‌سازی هزینه کل برای ارضای تقاضا است و دو رویکرد اصلی مدل‌سازی گروه‌بندی مستقیم (DGS)^۱ و گروه‌بندی غیرمستقیم (IGS)^۲ در آن‌ها استفاده‌شده است. در استراتژی گروه‌بندی مستقیم، محصولات به تعداد مشخصی از مجموعه‌ها گروه‌بندی می‌شوند و محصولات هر گروه با سیکل زمانی مشترک سفارش داده می‌شوند. در استراتژی گروه‌بندی غیرمستقیم، یک سیکل سفارش پایه وجود دارد و هر محصول در ضریب صحیحی از سیکل پایه سفارش داده می‌شود. بنابراین گروه‌ها در استراتژی گروه‌بندی غیرمستقیم به‌صورت موقت تشکیل می‌شوند. معمولاً در هزینه سفارش‌دهی عمده بالاتر استراتژی گروه‌بندی غیرمستقیم در مقایسه با استراتژی گروه‌بندی مستقیم عملکرد بهتری دارد [۳].

آرکین و همکاران [۴] نشان دادند که مساله سفارش هم‌زمان اقلام یک مساله با پیچیدگی سخت^۳ است؛ بنابراین الگوریتمی که در یک‌زمان چندجمله‌ای بتواند این مساله را مخصوصاً در ابعاد بزرگ حل کند وجود ندارد. لذا در مقالات بسیاری، با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری، روش‌های حل تقریبی برای مساله توسعه داده‌شده است. برای اولین بار گویال [۵] یک الگوریتم محاسباتی، با محاسبه حد بالا و پایین زمان سیکل پایه، برای مشخص کردن مینیمم‌های محلی و مینیمم کل ارائه داد. رویکرد گویال منجر به یافتن جواب بهینه برای این مساله می‌شد ولی از لحاظ محاسباتی ممکن بود برای مسایل بزرگ به جواب نرسد. سیلور [۶] الگوریتمی کارا برای حل مساله سفارش هم‌زمان اقلام ارائه داد که بعداً توسط گویال و بلتون [۷] بهبود داده شد و سپس توسط کسپی و روزنبلات [۸] توسعه بیشتری یافت. این الگوریتم شاید معروف‌ترین روش هیوریستیک در حل این مساله بوده و به نام الگوریتم RAND معروف است. اسلن [۹] بیان می‌کند که بیشتر مدل‌سازی‌های مساله سفارش هم‌زمان اقلام بر اساس رویکرد گروه‌بندی غیرمستقیم انجام‌شده است. از این‌رو یک الگوریتم حل تکاملی بر اساس رویکرد مدل‌سازی گروه‌بندی مستقیم توسعه داده و آن را با بهترین الگوریتم‌های حل موجود مقایسه کرده

¹ Direct grouping strategy

² Indirect grouping strategy

³ NP-hard

و در برخی از موارد نتایج بهتری کسب می کند. وانگ و همکاران [۱۰] یک الگوریتم تکاملی تفاضلی برای پیدا کردن جواب های تقریبی مساله سفارش هم زمان پیشنهاد دادند و آن را با الگوریتم ژنتیک (GA)^۱ مقایسه کردند. یاو و همکاران [۱۱] مساله سفارش هم زمان اقلام را در حالت چند مشتری مدل سازی کردند. مدل توسعه یافته بر اساس یک الگوریتم ژنتیک حل شده است. نوح و همکاران [۱۲] مساله سفارش هم زمان اقلام را با تقاضای تصادفی و محدودیت حداقل اندازه سفارش با استفاده از رویکرد گروه بندی غیرمستقیم مدل سازی کردند.

رابطه نزدیک بین مدیریت موجودی و انتخاب تامین کننده محققان زیادی را برای توسعه مدل های یکپارچه تصمیم گیری در دو قلمرو مذکور برانگیخته است. کاربرد برنامه ریزی ریاضی در انتخاب تامین کننده اولین بار توسط گابالا [۱۳] استفاده شد. وی برای فرموله کردن مساله مینیم سازی هزینه کل سفارش اقلام به فروشنده ها با لحاظ کردن تخفیف یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح آمیخته را به کار برد. قدسی پور و ابراین [۱۴] مدلی پیشنهاد دادند که انتخاب تامین کنندگان و تخصیص سفارش را یکپارچه می کرد. مون و همکاران [۱۵] به مدل سازی مساله سفارش هم زمان اقلام با چند تامین کننده و لحاظ کردن تخفیف پرداختند. آن ها با لحاظ سیاست تامین تک منبعی بدون هرگونه محدودیت ظرفیت تامین کنندگان مدل خود را توسعه داده و برای حل آن یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی را پیشنهاد دادند. رضایی و داوودی [۱۶] بر اهمیت مدل سازی چند هدفه تاکید کردند و مدل انتخاب تامین کننده و تخصیص سفارش در چند دوره زمانی و چند محصولی را پیشنهاد دادند. آن ها برای حل مدل از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. لی و همکاران [۱۷] مدل برنامه ریزی عدد صحیح آمیخته ای (MIP)^۲ برای حل مساله تخصیص سفارش به تامین کنندگان چند گانه در شرایط چند دوره زمانی و تخفیف پیشنهاد دادند. آن ها برای پیدا کردن جواب از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. محمدی تبار و قدسی پور [۱۸] مدلی برای مساله انتخاب تامین کننده و تخصیص سفارش با محدودیت ظرفیت را پیشنهاد دادند که سفارش هم زمان موجودی کالا را با رویکرد گروه بندی مستقیم مورد توجه قرار می داد. برای حل مساله، الگوریتم شبیه سازی تبرید (SA)^۳ را پیشنهاد داده و آن را با الگوریتم اصلاح شده ژنتیک مقایسه کردند. چویی و همکاران [۱۹] مساله سفارش هم زمان اقلام را با در نظر گرفتن سه نوع تخفیف شامل تخفیف کلی، تخفیف نموی و تخفیف بر مبنای کل خرید را توسعه دادند. برای حل مدل یک الگوریتم هیوریستیک توسعه داده و با استفاده از حل یک مثال عددی به تشریح نتایج خود پرداختند. آلفراس و تورنادی [۲۰] یک مدل تعیین اندازه انباشته با چند قلم کالا و چندین تامین کننده در دوره های مختلف را با لحاظ کردن تخفیف و کمبود توسعه دادند. مدل برنامه ریزی عدد صحیح آمیخته توسعه داده شده در ابعاد کوچک به صورت بهینه حل شده است. برای ابعاد بزرگ مساله نیز دو روش تقریبی بر مبنای روش سیلور میل و همچنین الگوریتم ژنتیک توسعه داده شده است.

آبی و همکاران [۲۱] مساله سفارش هم زمان اقلام با چند تامین کننده را با لحاظ کردن تخفیف برای اقلام فساد پذیر مدل سازی کردند. مدل توسعه یافته دارای پیچیدگی سخت بوده و با استفاده از روش های فراابتکاری حل شده است. کانگ و همکاران [۲۲] مساله سفارش هم زمان اقلام پویا را با چند تامین کننده و چند وسیله حمل

¹ Genetic algorithm

² Mixed integer programming

³ Simulated annealing

مدل‌سازی کرده و با استفاده از الگوریتم فراابتکاری حل کرده‌اند. آلفارس و همکاران [۲۳] به مدل‌سازی مساله تعیین اندازه انباشته سفارش چند دوره‌ای با چند تامین‌کننده با لحاظ کردن تخفیف و امکان مواجهه با کمبود پرداختند. برای حل مدل از دو روش ابتکاری و فرا ابتکاری استفاده کرده‌اند.

ویی و همکاران [۲۴] برنامه‌ریزی غیرخطی فازی اوزان معکوس را برای فرموله کردن مساله چندهدفه سفارش هم‌زمان موجودی با کالاهای فسادپذیر پیشنهاد دادند. مساله چندهدفه فازی (FMOP)^۱ در سفارش هم‌زمان موجودی در برخی مقالات دیگر هم مورد بررسی قرار گرفته است [۲۵-۲۹]. وانگ و همکاران [۳۰] تاکید کردند که اغلب تصمیم‌گیران با محدودیت‌های عملیاتی مبهمی مواجه می‌شوند و در نتیجه یک مدل مساله سفارش هم‌زمان اقلام با هزینه‌های فازی سفارش‌دهی جزئی و نگهداری را توسعه دادند.

برنامه‌ریزی چند هدفه (MOP)^۲ یکی از روش‌های تصمیم‌گیری در محیط تصمیم‌گیری چندبعدی است. در یک مساله چندهدفه، تصمیم‌گیرنده سعی در بهبود هم‌زمان دو و یا چند هدف تحت محدودیت‌های مختلف دارد. برای این مسایل به‌دورت جواب بهینه کاملی وجود دارد و معمولاً جواب‌های بهینه پارتویی برای آن‌ها یافت می‌شود که توسط روش‌هایی از قبیل روش وزن‌دهی به اهداف تعیین می‌شوند [۳۱]. هنگام فرموله کردن یک مساله چند هدفه، عوامل مختلفی برای تشریح تابع هدف و محدودیت‌ها نیاز است که اغلب این عوامل غیرصریح و مبهم هستند. برنامه‌ریزی چندهدفه فازی پارامترهای مذکور را به‌طور مناسبی با اعداد فازی نشان می‌دهد.

انواع مختلفی از روش‌های چند هدفه فازی برای حل مسایل تصمیم‌گیری ارایه‌شده که شامل مقادیر فازی در پارامترهای تابع هدف و محدودیت‌ها می‌شوند. بسیاری از تحقیقات به دنبال تبدیل نمودن مساله چندهدفه فازی به برنامه‌ریزی قطعی هستند [۳۲-۳۳]. به‌عنوان نمونه، در ادامه برخی از تحقیقات اخیر مرتبط با مساله چندهدفه فازی مرور می‌شود. کومار و همکاران [۲۸] روش برنامه‌ریزی عدد صحیح چند هدفه فازی برای مساله انتخاب تامین‌کننده در زنجیره تامین توسعه دادند و سه تابع هدف حداقل‌سازی هزینه، حداکثرسازی کیفیت و حداکثرسازی تحویل به‌موقع را مدنظر قرار دادند. عمید و همکاران [۲۵] مساله انتخاب تامین‌کننده در زنجیره تامین را با ایجاد مدل خطی چندهدفه فازی و کاربرد روش تصمیم‌گیری غیرمقارن فازی حل کردند. هوانگ و همکاران [۳۴] سیاست سفارش‌دهی میان خریدار و فروشنده در شرایط اهداف و محدودیت‌های فازی را مدل‌سازی کرده‌اند.

در حل مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی، برای پارامترهای فازی معمولاً توابع عضویت به‌صورت خطی در نظر گرفته می‌شوند. یک تابع عضویت خطی در محدوده تغییرات پارامتر دارای مقدار افزایشی یا کاهشی پیوسته هست و مقادیر حد پایین و بالای موردقبول برای پارامتر تعریف می‌شود. مدل چندهدفه سفارش هم‌زمان اقلام و انتخاب تامین‌کننده در شرایط فازی می‌تواند به یک مساله تصمیم‌گیری فازی، تبدیل شده و به‌وسیله روش‌هایی مانند برنامه‌ریزی غیرخطی فازی (FNL)^۳ و همچنین برنامه‌ریزی آرمانی فازی (FGP)^۴ حل شود. روی و مایتی

¹ Fuzzy multi objective programming

² Multi objective programming

³ Fuzzy nonlinear programming

⁴ Fuzzy goal programming

[۳۵] نشان دادند که روش برنامه ریزی غیرخطی فازی نسبت به برنامه ریزی آرمانی فازی روش کاراتری است. ویی و همکاران [۲۴] با معرفی روش برنامه ریزی غیرخطی فازی وزن معکوس (IWFNLP)^۱ و لحاظ کردن نسبت معکوس اوزان، کارایی روش برنامه ریزی غیرخطی فازی را ارتقاء بخشیدند. نتایج آزمایش های گوناگون نشان داد که روش برنامه ریزی غیرخطی فازی اوزان معکوس می تواند جواب هایی تولید کند که در آن نسبت سطوح دسترسی اجزای فازی تا حد ممکن به نسبت وزن های تعیین شده نزدیک است.

۳ توسعه مدل و روش حل

در این بخش به توسعه مدل و روش حل مساله سفارش هم زمان اقلام با چند تامین کننده تحت شرایط اهداف و محدودیت های فازی می پردازیم. فرض کنید چندین تامین کننده وجود دارد که دارای محدودیت ظرفیت برای تامین اقلام می باشند و خریدار می بایست برای تأمین تقاضای مورد نیاز خود به تخصیص سفارش به آن ها پردازد. خریدار دارای محدودیت ظرفیت انبار است. سفارش اقلام به تأمین کنندگان دارای هزینه عمده و جزیی سفارش است. هزینه عمده سفارش به تنوع اقلام وابسته نیست در حالی که هزینه جزیی سفارش به ازای هر قلم کالایی که به یک تامین کننده سفارش داده می شود محاسبه می شود. فرض می شود که تمامی تقاضای خریدار پاسخ داده می شود. خریدار به دنبال بیشینه سازی مطلوبیت خرید اقلام سالم و کمینه کردن هزینه های مرتبط با موجودی اقلام و همچنین هزینه های خرید اقلام معیوب است. با توجه به این که بر اساس چیدمان اقلام در انبار و راهروهای میان قفسه ها، ظرفیت انبار به صورت قطعی مشخص نیست، ظرفیت انبار به صورت یک پارامتر فازی مثلثی مشخص می شود.

۳-۱ مدل سازی مساله

با توجه به تعریف مساله، در ادامه به بیان دقیق مفروضات، پارامترها و متغیرها می پردازیم و مدل ریاضی مساله ارائه می شود.

مفروضات:

- تقاضای اقلام مستقل از هم است؛
- تأمین کنندگان چند گانه وجود دارند و ظرفیت همه تامین کنندگان از مجموع تقاضای اقلام بیشتر است؛
- توابع هدف و فضای ذخیره سازی فازی هستند؛
- کمبود و تخفیف وجود ندارد؛
- رویکرد گروه بندی غیرمستقیم در مدیریت موجودی اقلام حاکم است؛
- بیشترین فضای ذخیره مورد نیاز برابر مجموع انباشته های سفارش همه اقلام است؛
- هزینه سفارش عمده مستقل از حجم و تنوع اقلام هست؛
- هر قلم کالا می تواند از چند تامین کننده، تامین شود؛
- مدل چندهدفه هست.

¹ Inverse weighted fuzzy nonlinear programming

برای توسعه مدل ابتدا به تعریف مجموعه‌ها و پارامترها می‌پردازیم.

مجموعه‌ها و اندیس‌ها

i : اندیس محصولات ($i=1,2,\dots,m$)

j : اندیس تامین‌کنندگان ($j=1,2,\dots,n$)

پارامترها

A : هزینه عمده سفارش

a_{ij} : هزینه جزئی سفارش محصول i از تامین‌کننده j

h_i : هزینه نگهداری هر واحد محصول i در واحد زمان

c_{ij} : هزینه خرید هر واحد محصول i از تامین‌کننده j

π_i : هزینه هر واحد کالای خراب i

D_i : تقاضای محصول i در واحد زمان

θ_{ij} : نرخ خرابی محصول i که توسط تامین‌کننده j تامین می‌شود

v_i : فضای موردنیاز برای ذخیره هر واحد محصول i

V : حداکثر فضای در دسترس برای ذخیره (پارامتر فازی)

I_{ij} : ظرفیت تامین‌کننده j برای محصول i

u_{ij} : مطلوبیت تصمیم‌گیرنده برای خرید کالای سالم i از تامین‌کننده j

$w_{\bar{c}_1}$: اولویت وزنی تابع هدف مربوط به هزینه‌ها

$w_{\bar{c}_2}$: اولویت وزنی تابع هدف مربوط به مطلوبیت خرید

$w_{\bar{v}}$: اولویت وزنی محدودیت مربوط به فضای انبار

متغیرهای نامنفی

T : زمان سیکل پایه

k_i : ضریب عدد صحیح مربوط به دوره سفارش محصول i ($T_i = k_i T$)

X_{ij} : نسبتی از تقاضای کالای i که از تامین‌کننده j خریداری می‌شود

متغیرهای صفر و یک

y_{ij} : اگر محصول i از تامین‌کننده j خریداری شود برابر با یک است و در غیر این صورت برابر صفر است؛

z_i : تضمین می‌کند حداقل یکی از محصولات زمان سیکل پایه داشته باشد یا به عبارتی حداقل یکی از مقادیر k_i

مقداری برابر یک داشته باشند

توابع هدف

$C_1(x_{ij}, T, k_i)$: تابع هزینه خرید و سفارش محصول

$C_2(x_{ij})$: تابع مطلوبیت خرید اقلام سالم از تامین‌کنندگان

$\sim$ نشان‌دهنده فازی بودن پارامتر و تابع هدف

مدل ریاضی

به دلیل عدم قطعیت فضای تصمیم گیری طبیعی است که اهداف را غیر صلب و منعطف فرض کنیم. مقادیر سمت راست نیز ممکن است به صورت غیر قطعی مطرح شوند. در نتیجه مدل ریاضی چندهدفه فازی مساله سفارش هم زمان محصولات با در نظر گرفتن انتخاب تامین کنندگان به شکل زیر خواهد بود:

$$\text{Min } C_1(x_{ij}, T, k_i) = \frac{A + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_{ij} y_{ij}}{k_i} \right)}{T} + \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n D_i x_{ij} k_i Th_i \quad (1)$$

$$+ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n D_i c_{ij} (1 - \theta_{ij}) x_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n D_i \pi_i \theta_{ij} x_{ij}$$

$$\text{Max } C_2(x_{ij}) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n u_{ij} (1 - \theta_{ij}) D_i x_{ij} \quad (2)$$

s.t.

$$D_i x_{ij} \leq L_{ij} \cdot y_{ij} \quad \forall i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m v_i D_i x_{ij} k_i T \leq \tilde{V} \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n (1 - \theta_{ij}) x_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m z_i k_i = 1 \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^m z_i = 1 \quad (7)$$

$$x_{ij} \leq 1 \quad \forall i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (8)$$

$$T, x_{ij} \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (9)$$

$$y_{ij}, z_i \in \{0, 1\} \quad \forall i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (10)$$

$$k_i \in \text{اعداد صحیح مثبت} \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (11)$$

تابع هدف (۱) بیان کننده مجموع هزینه های عمده سفارش، جزیی سفارش، نگهداری، خرید اقلام سالم و اقلام معیوب است. تابع هدف (۲) مطلوبیت خرید اقلام سالم از تامین کنندگان است. محدودیت (۳) تضمین می کند که مقدار خرید هر قلم کالا از یک تامین کننده از ظرفیت آن فراتر نرود. محدودیت (۴) مربوط به حداکثر فضای انبار خریدار است. محدودیت (۵) در ارتباط با تامین کل تقاضای هر قلم کالا توسط تامین کنندگان است. محدودیت های (۶) - (۷) تضمین می کنند که سیکل سفارش حداقل یکی از اقلام برابر سیکل سفارش پایه باشد. محدودیت (۸) تضمین می کند که نسبت میزان سفارش به هر تامین کننده از تقاضای کل عددی کمتر یا مساوی یک باشد. محدودیت های (۹) - (۱۱) نوع متغیرهای تصمیم را مشخص می کند. در ادامه به بیان روش حل مدل می پردازیم.

۳-۲ ادایه روش حل

از آنجایی که اهداف و محدودیت فضای انبار فازی می‌باشند، می‌بایست حد بالا و پایینی برای آن‌ها یافت که بر اساس این حدود توابع عضویت آن‌ها به دست می‌آید. برای این منظور دو رویکرد وجود دارد. در رویکرد اول تصمیم‌گیر می‌تواند محدوده‌های قابل قبول ذهنی برای توابع اهداف و محدودیت‌ها تعریف کند. در رویکرد دوم، مقادیر خوش‌بینانه و بدبینانه هر کدام از اهداف با بیشینه‌سازی و کمینه‌سازی مستقل هر کدام از آن‌ها در فضای محدودیت‌های مساله به دست می‌آید و پایین‌ترین و بالاترین حد توابع هدف مشخص می‌شود. در این تحقیق فرض می‌کنیم که حد بالا (V^U) و پایین (V^L) محدودیت فضای انبار توسط تصمیم‌گیرنده مشخص شده است و برای تعیین حد بالا و پایین اهداف از مسایل بهینه‌سازی استفاده می‌کنیم. بدین ترتیب، حد بالای تابع هدف C_1 از طریق حل مساله بدبینانه بهینه‌سازی زیر به دست می‌آید. برای این که حد بالای تابع هدف C_1 نامحدود نشود، باید برای سیکل پایه یک حد پایین مشخص کنیم. با توجه به این که در عمل نیز فاصله میان دو سفارش متوالی نمی‌تواند بسیار کوچک و نزدیک به صفر باشد، انتخاب یک حد پایین برای سیکل سفارش پایه از نظر کاربردی نیز قابل قبول است.

$$C_1^U = \text{Max } C_1(x_{ij}, T, k_i) \quad (12)$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^m v_i D_i k_i T \leq V^U \quad (13)$$

محدودیت‌های (۱۱)–(۵)

حد پایین تابع هدف C_1 از حل مساله خوش‌بینانه زیر تعیین می‌شود.

$$C_1^L = \text{Min } C_1(x_{ij}, T, k_i) \quad (14)$$

s.t.

محدودیت‌های (۱۱)–(۵) و (۱۳)

با توجه به اینکه بیشینه‌سازی تابع هدف دوم مورد نظر است، حد بالای آن از طریق حل مساله خوش‌بینانه زیر تعیین می‌شود.

$$C_7^U = \text{Max } C_7(x_{ij}) \quad (15)$$

s.t.

محدودیت‌های (۱۱)–(۵) و (۱۳)

به طریق مشابه، حد پایین تابع هدف دوم از طریق حل مساله بدبینانه زیر به دست می‌آید.

$$C_7^L = \text{Min } C_7(x_{ij}) \quad (16)$$

s.t.

محدودیت‌های (۱۱)–(۵) و (۱۳)

با محاسبه حدود بالا و پایین اهداف و محدودیت فضای انبار، تابع عضویت فازی هر کدام از آن‌ها تعیین می‌شود. با توجه به این که کمینه‌سازی تابع هدف اول و بیشینه‌سازی تابع هدف دوم مدنظر بوده و فضای انبار از جنس منبع کمیاب هست، بنابراین توابع عضویت آن‌ها به شکل زیر خواهد بود:

$$\mu_{\tilde{C}_1} = \begin{cases} 1 & C_1 < C_1^L \\ \frac{C_1^U - C_1}{C_1^U - C_1^L} & C_1^L \leq C_1 \leq C_1^U \\ 0 & C_1 > C_1^U \end{cases} \quad (17)$$

$$\mu_{\tilde{C}_r} = \begin{cases} 0 & C_r < C_r^L \\ \frac{C_r - C_r^L}{C_r^U - C_r^L} & C_r^L \leq C_r \leq C_r^U \\ 1 & C_r > C_r^U \end{cases} \quad (18)$$

$$\mu_{\tilde{V}} = \begin{cases} 1 & V < V^L \\ \frac{V^U - V}{V^U - V^L} & V^L \leq V \leq V^U \\ 0 & V > V^U \end{cases} \quad (19)$$

تصمیم گیرنده برای هر کدام از اهداف و محدودیت فازی، وزنی را تعیین می کند که نشان دهنده میزان تمایل او برای برآورده شدن مطلوب تر آن هدف یا محدودیت است. فرض کنید که مقادیر قطعی مثبت $w_{\tilde{C}_1}$ ، $w_{\tilde{C}_r}$ و $w_{\tilde{V}}$ به ترتیب نشان دهنده وزن تابع هدف اول و دوم و محدودیت فضای انبار است به نحوی که مجموع آن ها برابر یک می شود. با مشخص شدن توابع عضویت پارامترها و اهداف فازی دو رویکرد مدل سازی قطعی IWFNLP و FGP برای یافتن جواب مساله به کار گرفته می شود که در ادامه شرح داده شده است.

۳-۲-۱ روش اوزان معکوس فازی

این روش در ابتدا توسط روی و مایتی [۳۵] بر اساس روش برنامه ریزی خطی زیمرمن [۳۶] و لی و لای [۳۷] توسعه داده شد. سپس توسط وی و همکاران [۲۴] با به کارگیری اوزان معکوس در مدل بهبود پیدا کرد. این روش مبتنی بر روش حداکثر حداقل است. بدین صورت که حداقل توابع عضویت عوامل فازی را حداکثر می نماییم. اولویت های تصمیم گیر در این روش در محدودیت ها بروز پیدا می کند. اوزان معکوس هر کدام از اهداف و محدودیت فضای انبار از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$IW_r = \frac{1/W_r}{\sum_r 1/W_r} \quad \forall r \in \{\tilde{C}_1, \tilde{C}_r, \tilde{V}\} \quad (20)$$

در نتیجه مدل سازی فازی مساله منجر به مساله بهینه سازی قطعی زیر می شود.

$$\text{Max } \lambda \quad (21)$$

s.t.

$$IW_{\tilde{C}_1} \left(\frac{C_1^U - C_1(x_{ij}, T, k_i)}{C_1^U - C_1^L} \right) \geq \lambda \quad (22)$$

$$IW_{\tilde{C}_r} \left(\frac{C_r(x_{ij}) - C_r^L}{C_r^U - C_r^L} \right) \geq \lambda \quad (23)$$

$$IW_{\tilde{V}} \left(\frac{V^U - \sum_{i=1}^m v_i D_i x_{ij} k_i T}{V^U - V^L} \right) \geq \lambda \quad (24)$$

$$\leq \left(\frac{C_1^U - C_1(x_{ij}, T, k_i)}{C_1^U - C_1^L} \right) \leq 1 \quad (25)$$

$$\leq \left(\frac{C_v(x_{ij}) - C_v^L}{C_v^U - C_v^L} \right) \leq 1 \quad (26)$$

$$\leq \left(\frac{V^U - \sum_{i=1}^m v_i D_i x_{ij} k_i T}{V^U - V^L} \right) \leq 1 \quad (27)$$

محدودیت‌های (۱۱)–(۵)

۳-۲-۲ برنامه‌ریزی آرمانی فازی

این روش توسط تیواری و همکاران [۳۸] ارائه شد و مبتنی بر حداکثرسازی ترکیب وزنی توابع عضویت بنا شده است. به عبارت دیگر، اولویت‌های تصمیم‌گیر در تابع هدف مساله بروز پیدا می‌کند و توابع هدف در قالب توابع عضویت در محدودیت‌ها قرار می‌گیرد. در این روش وقتی تابع هدف مساله به بیشینه خود برسد درواقع توابع عضویت بر اساس اولیوی که تصمیم‌گیر مشخص می‌نماید به حداکثر مقدار خود می‌رسند و این بدین معناست که توابع هدف متناظر آن‌ها به حداکثر سطح بهینه خود رسیده‌اند. در نتیجه مدل‌سازی مساله به صورت زیر خواهد شد.

$$\text{Max } w_{\tilde{C}_1} \left(\frac{C_1^U - C_1(x_{ij}, T, k_i)}{C_1^U - C_1^L} \right) + w_{\tilde{C}_v} \left(\frac{C_v(x_{ij}) - C_v^L}{C_v^U - C_v^L} \right) + w_{\tilde{V}} \left(\frac{V^U - \sum_{i=1}^m v_i D_i x_{ij} k_i T}{V^U - V^L} \right) \quad (28)$$

s.t.

محدودیت‌های (۱۱)–(۵) و (۲۷)–(۲۵)

۴ تحلیل نتایج با استفاده از مثال عددی

به منظور تحلیل نتایج و مقایسه روش‌های IWFNLP و FAGP به حل یک مثال عددی در نرم‌افزار GAMS گمز می‌پردازیم. فرض کنید ۵ قلم کالا و ۳ تامین‌کننده وجود دارد. هزینه عمده سفارش به تامین‌کنندگان برابر ۶۰۰ است. حد بالا و پایین فضای انبار به ترتیب برابر ۲۰ و ۱۰ است. اوزان مربوط به اهداف اول و دوم و محدودیت فضای انبار به ترتیب برابر ۰/۶۵، ۰/۲ و ۰/۱۵ است. باقی پارامترهای مساله در جدول ۱ داده شده است.

جدول ۱. پارامترهای مثال عددی

u_{ij}			c_{ij}			θ_{ij}			s_{ij}			L_{ij}			π_i	h_i	v_i	D_i	i
$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=1$	$j=2$	$j=3$					
۰/۳	۰/۲	۰/۵	۱۴	۱۷	۱۳	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۴	۵۰	۶۰	۴۰	۱۰۰	۱۵۰	۱۳۰	۴	۲	۱	۲۰۰	۱
۰/۱	۰/۴	۰/۵	۲۵	۲۴	۲۶	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۷	۱۵۰	۱۲۰	۱۶۰	۳۰	۲۵	۶۰	۶	۳	۰/۵	۸۰	۲
۰/۴	۰/۳	۰/۴	۱۰	۹	۱۱	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۸۰	۹۰	۶۰	۳۰۰	۲۵۰	۴۰۰	۳	۱/۵	۰/۷۵	۶۰	۳
۰/۱	۰/۴	۰/۵	۹۰	۸۵	۸۸	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۲۰۰	۱۵۰	۱۸۰	۳۰	۲۵	۴۰	۱۸	۱۰	۱/۲	۵۰	۴
۰/۲	۰/۴	۰/۴	۹۰	۸۸	۷۱	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۱	۶۰	۵۰	۳۰	۸۰	۹۰	۶۰	۱۶	۸	۰/۹	۱۵۰	۵

برای پیدا کردن حدود بالا و پایین توابع هدف، کم ترین مقدار سیکل پایه را برابر ۰/۰۱ در نظر می گیریم. مقادیر حد بالا و پایین توابع هدف از حل مدل های مربوط به آنها در نرم افزار GAMS محاسبه شده و در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. حد بالا و پایین توابع هدف

	هدف اول	هدف دوم
حد بالا	۲۳۱۹۵۶/۰۲۶	۲۲۹/۴۰۵
حد پایین	۶۰۹۳۳/۴۱۷	۱۴۵/۷۵۵

بر اساس حدود به دست آمده برای توابع و حل مدل در نرم افزار GAMS، مقادیر متغیرهای تصمیم تعیین گردید. سیکل پایه در مدل های FGP و IWFNLP به ترتیب برابر ۰/۰۲۴ و ۰/۰۲۹ به دست آمد. مقادیر سفارش به تامین کنندگان در هر دو رویکرد مدلسازی به جواب مشابه رسید که در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. مقدار سفارش به تامین کنندگان و سیکل سفارش اقلام

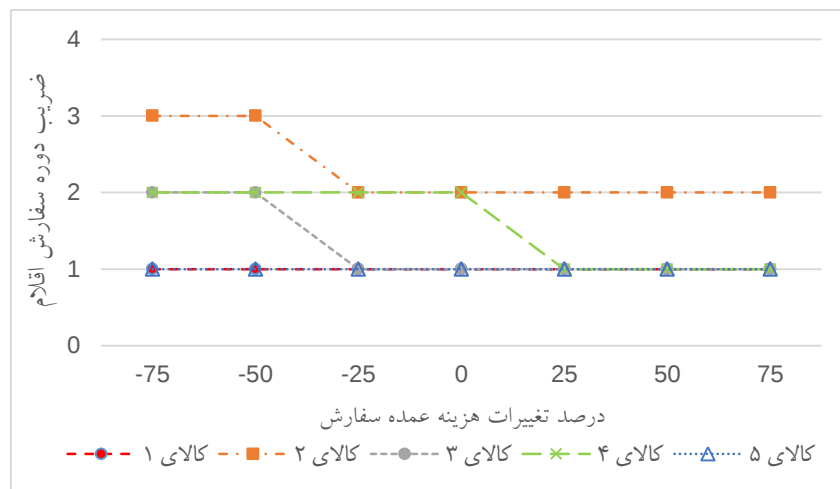
x_{ij}				
$j=1$	$j=2$	$j=3$	k_i	i
۰/۳۸۸	۰	۰/۶۵	۱	۱
۰/۰۰۶	۰/۳۱۲	۰/۷۵	۲	۲
۰	۰/۰۵۳	۱	۱	۳
۰	۰/۲۳۹	۰/۸	۲	۴
۰/۰۲۹	۰/۶	۰/۴	۱	۵

بر اساس وی و همکاران [۲۴]، برای سنجش عملکرد روش های حل از شاخص μ/W استفاده می کنیم. بر این اساس، روشی از لحاظ عملکرد بهتر است که مقدار این شاخص برای تمام عوامل فازی مساله نزدیک به هم و در حالت ایده آل برابر باشد. به عبارت دیگر سطح دسترسی (توابع عضویت) مشخص کننده اولویت تصمیم گیرنده (W) در خصوص آنها باشد. جدول ۴ نشان می دهد که روش برنامه ریزی IWFNLP عملکرد نسبتاً بهتری در مقایسه با روش FAGP دارد.

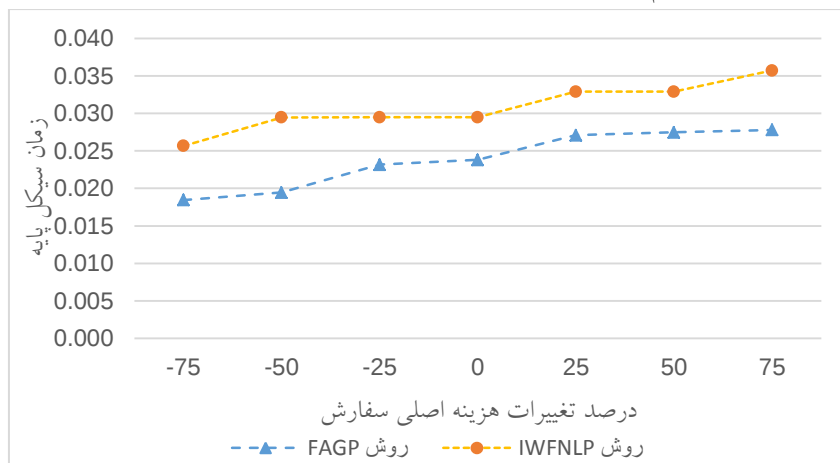
جدول ۴. مقایسه دو روش FGP و IWFNLP

روش حل	$\mu_{\bar{c}_1}/W_{\bar{c}_1}$	$\mu_{\bar{c}_2}$	$\mu_{\bar{c}_2}/W_{\bar{c}_2}$	$\mu_{\bar{c}_1}$	$\mu_{\bar{c}_2}/W_{\bar{c}_2}$	$\mu_{\bar{c}_1}$	هدف اول	هدف دوم	فضای انبار
FGP	۰/۸۹۴	۱/۳۷	۰/۹۹۶	۴/۹۸	۰/۵۵۸	۳/۷۲	۷۹۰۹۸/۳۸۷	۲۹۹/۱۰۵	۱۴/۴۲۲
IWFNLP	۰/۹۷۱	۱/۴۹	۰/۸۷۶	۴/۳۸	۰/۲۲۴	۱/۴۹	۶۵۸۳۲/۰۲۲	۲۱۹/۰۵۵	۱۷/۷۵۸

برای تحلیل حساسیت نتایج، به بررسی تاثیر هزینه عمده سفارش بر سیکل سفارش پایه و ضرایب سیکل سفارش اقلام می‌پردازیم. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است با افزایش هزینه عمده سفارش سیکل سفارش پایه افزایش پیدا کرده است. به بیان دیگر مدل تلاش می‌کند تا تعداد دفعات سفارش عمده را کاهش دهد. همچنین همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، با افزایش هزینه عمده سفارش ضرایب سیکل سفارش اقلام کاهش پیدا کرده است. به عبارت دیگر با افزایش هزینه عمده سفارش مدل تلاش می‌کند تا با بزرگ‌تر کردن سیکل سفارش پایه هزینه کمتری از بابت هزینه عمده سفارش بپردازد و از طرف دیگر با کاهش ضریب سیکل سفارش اقلام، از افزایش بی‌رویه هزینه نگهداری آن‌ها نیز جلوگیری کند.



شکل ۱. تغییرات ضرایب دوره سفارش اقلام با تغییرات هزینه عمده سفارش



شکل ۲. مقادیر سیکل پایه سفارش با تغییرات هزینه عمده سفارش

۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

در این مقاله یک مدل ریاضی توسعه داده شد که به صورت هم‌زمان به انتخاب تامین‌کننده با اهداف مختلف و همچنین سفارش همزمان اقلام متعدد در محیط فازی می‌پردازد. مدل بر اساس رویکرد گروه‌بندی غیرمستقیم توسعه یافته که در آن یک سیکل پایه سفارش تعیین می‌شود و هر قلم کالا در ضریب صحیحی از سیکل پایه سفارش داده می‌شود. با توجه به پارامترهای فازی برای حل مساله از روش‌های برنامه‌ریزی غیرخطی فازی با اوزان

معکوس و برنامه ریزی آرمان فازی استفاده شد. با استفاده از حل یک مثال عددی و شاخص نسبت تابع عضویت به وزن اهداف یا محدودیت ها، عملکرد دو روش حل باهم مقایسه شد که نشان داد عملکرد روش اوزان معکوس مطلوب تر است و عضویت اهداف و محدودیت ها تناسب بیشتری با وزن آنها دارد. تحلیل حساسیت مدل نشان داد که با افزایش هزینه عمده سفارش طول زمان سیکل سفارش پایه افزایش پیدا کرده و ضرایب مربوط به سیکل سفارش اقلام به هم نزدیک تر می شود. در نتیجه هرچقدر که هزینه های عمده سفارش بزرگ تر باشد، انباشته های بزرگ تری سفارش داده می شود و همچنین اقلام بیشتری در یک سفارش قرار می گیرند. از جمله مزایای مدل و روش حل ارائه شده در این مقاله می توان به امکان لحاظ کردن اهداف مختلف انتخاب تامین کننده، در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترها به صورت فازی و سادگی رویکرد حل اشاره کرد. اگرچه به دلیل ماهیت مساله سفارش همزمان اقلام که دارای پیچیدگی زمانی سخت است حل مساله در ابعاد بزرگ نیازمند روش های فراابتکاری است که به عنوان زمینه تحقیقات آتی پیشنهاد می شود. همچنین برای مطالعات آتی پیشنهاد می شود از رویکرد گروه بندی مستقیم نیز استفاده شود و پارامترهای دیگری از مدل تحت شرایط فازی در نظر گرفته شود.

منابع

- [1] Tsai, C.-Y., C.-Y. Tsai, and P.-W., (2009). Huang, An association clustering algorithm for can-order policies in the joint replenishment problem. *International Journal of Production Economics*, 117(1), 30-41.
- [2] Aksoy, Y. and S. Selcuk Erenguc, (1988). Multi-item inventory models with co-ordinated replenishments: a survey. *International Journal of Operations & Production Management*, 8(1), 63-73.
- [3] Van Eijs, M., R.M.J. Heuts, and J.P.C. Kleijnen, (1992). Analysis and comparison of two strategies for multi-item inventory systems with joint replenishment costs. *European Journal of Operational Research*, 59(3), 405-412.
- [4] Arkin, E., D. Joneja, and R. Roundy, (1989). Computational complexity of uncapacitated multi-echelon production planning problems. *Operations research letters*, 8(2), 61-66.
- [5] Goyal, S.K., (1974). Determination of optimum packaging frequency of items jointly replenished. *Management Science*, 21(4), 436-443.
- [6] Silver, E.A., (1976). A simple method of determining order quantities in joint replenishments under deterministic demand. *Management Science*, 22(12), 1351-1361.
- [7] Goyal, S. and A. Belton, (1986). Note on "a simple method of determining order quantities in joint replenishments under deterministic demand". *Management Science*, 25(6), 1979, 604.
- [8] Kaspi, M. and M.J. Rosenblatt, (1983). An improvement of Silver's algorithm for the joint replenishment problem. *AIIE Transactions*, 15(3), 264-267.
- [9] Olsen, A.L., (2005). An evolutionary algorithm to solve the joint replenishment problem using direct grouping. *Computers & Industrial Engineering*, 48(2), 223-235.
- [10] Wang, L., J. He, and Y.R. Zeng, (2012). A differential evolution algorithm for joint replenishment problem using direct grouping and its application. *Expert Systems*, 29(5), 429-441.
- [11] Yao, M. J., Lin, J. Y., Lin, Y. L., & Fang, S. C. (2020). An integrated algorithm for solving multi-customer joint replenishment problem with districting consideration. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 138, 101896.
- [12] Noh, J. S., Kim, J. S., & Sarkar, B. (2019). Stochastic joint replenishment problem with quantity discounts and minimum order constraints. *Operational Research*, 19(1), 151-178.
- [13] Gaballa, A., (1974). Minimum cost allocation of tenders. *Journal of the Operational Research Society*, 25(3), 389-398.
- [14] Ghodsypour, S.H. and C. O'brien, (2001). The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint. *International journal of*

- production economics, 73(1), 15-27.
- [15] Moon, I., S. Goyal, and B. Cha, (2008). The joint replenishment problem involving multiple suppliers offering quantity discounts. *International Journal of Systems Science*, 39(6), 629-637.
 - [16] Rezaei, J. and M. Davoodi, (2011). Multi-objective models for lot-sizing with supplier selection. *International Journal of Production Economics*, 130(1), 77-86.
 - [17] Lee, A.H., et al., (2013). An integrated model for lot sizing with supplier selection and quantity discounts. *Applied Mathematical Modelling*, 37(7), 4733-4746.
 - [18] Mohammaditabar, D. and S.H. Ghodsypour, (2016). A supplier-selection model with classification and joint replenishment of inventory items. *International Journal of Systems Science*, 47(8), 1745-1754.
 - [19] Cui, L., Zhang, Y., Deng, J., & Xu, M. (2018). A novel multi-item joint replenishment problem considering multiple type discounts. *PloS one*, 13(6), e0194738.
 - [20] Alfares, H. K., & Turnadi, R. (2018). Lot sizing and supplier selection with multiple items, multiple periods, quantity discounts, and backordering. *Computers & Industrial Engineering*, 116, 59-71.
 - [21] Ai, X., Yue, Y., Xu, H., & Deng, X. (2021). Optimizing multi-supplier multi-item joint replenishment problem for non-instantaneous deteriorating items with quantity discounts. *Plos one*, 16(2), e0246035.
 - [22] Kang, H. Y., Lee, A. H., Wu, C. W., & Lee, C. H. (2017). An efficient method for dynamic-demand joint replenishment problem with multiple suppliers and multiple vehicles. *International Journal of Production Research*, 55(4), 1065-1084.
 - [23] Alfares, H. K., & Turnadi, R. (2018). Lot sizing and supplier selection with multiple items, multiple periods, quantity discounts, and backordering. *Computers & Industrial Engineering*, 116, 59-71.
 - [24] Wee, H.-M., C.-C. Lo, and P.-H. Hsu, (2009). A multi-objective joint replenishment inventory model of deteriorated items in a fuzzy environment. *European Journal of Operational Research*, 197(2), 620-631.
 - [25] Amid, A., S. Ghodsypour, and C. O'Brien, (2006). Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain. *International Journal of production economics*, 104(2), 394-407.
 - [26] Araz, C., P.M. Ozfirat, and I. Ozkaran, (2007). An integrated multicriteria decision-making methodology for outsourcing management. *Computers & Operations Research*, 34(12), 3738-3756.
 - [27] Kumar, M., P. Vrat, and R. Shankar, (2004). A fuzzy goal programming approach for vendor selection problem in a supply chain. *Computers & industrial engineering*, 46(1), 69-85.
 - [28] Kumar, M., P. Vrat, and R. Shankar, (2006). A fuzzy programming approach for vendor selection problem in a supply chain. *International Journal of Production Economics*, 101(2), 273-285.
 - [29] Lam, S. and L. Tang, (2006). Multiobjective vendor allocation in multiechelon inventory systems: a spreadsheet model. *Journal of the Operational Research Society*, 57(5), 561-578.
 - [30] Wang, L., et al., (2013). Model and algorithm of fuzzy joint replenishment problem under credibility measure on fuzzy goal. *Knowledge-Based Systems*, 39, 57-66.
 - [31] Rosenthal, R.E., (1985). Concepts, theory, and techniques principles of multiobjective optimization. *Decision Sciences*, 16(2), 133-152.
 - [32] Lai, Y.-J. and C.-L. Hwang, (1994). Fuzzy multiple objective decision making, in *Fuzzy Multiple Objective Decision Making*. Springer. 139-262.
 - [33] Wu, F., J. Lu, and G. Zhang, (2006). A new approximate algorithm for solving multiple objective linear programming problems with fuzzy parameters. *Applied Mathematics and Computation*, 174(1), 524-544.
 - [34] Huang, Y. D., Wee, H. M., Praharsi, Y., & Lo, C. C. (2019). An integrated vendor-buyer replenishment policy for deteriorating items with fuzzy environment and resource constraint. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 57(4), 667-691.
 - [35] Roy, T. and M. Maiti, (1998). Multi-objective inventory models of deteriorating items with some constraints in a fuzzy environment. *Computers & operations research*, 25(12), 1085-1095.
 - [36] Zimmermann, H.-J., (1978). Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. *Fuzzy sets and systems*, 1(1), 45-55.
 - [37] Lee, E.S. and R.J. Li, (1993). Fuzzy multiple objective programming and compromise programming with Pareto optimum. *Fuzzy sets and systems*, 53(3), 275-288.
 - [38] Tiwari, R., S. Dharmar, and J. Rao, (1987). Fuzzy goal programming—an additive model. *Fuzzy sets and systems*, 24(1), 27-34.