Archive of SID

فصلنامه علمی مطالعات مدیریت صنعتی – سال هجدهم، شماره ۵۷، تابستان ۹۹
صفحات ۳۴۴-۳۰۷

تعیین تعداد بهینه گروه‌های اقلام موجود در انبار بر اساس آنالیز ABC در چارچوب یک شبکه زنجیره‌تامین

امید عبدالعظیمی،* مرضیه خاکستری**

تاریخ دریافت:۹۸/۳/۲۵
تاریخ پذیرش:۹۸/۱۱/۶

چکیده

طبقه‌بندی موجودی یکی از تکنیک‌های مهم در حوزه مدیریت موجودی است. یک روش شناخته‌شده، روش طبقه‌بندی بر اساس آنالیز ABC است که اقلام موجود در انبار را بر اساس ارزش و اهمیت آنها در طبقات مختلفی قرار می‌دهد. در این مقاله، یک شبکه زنجیره تامین سه سطحی برای یک مدل بهینه‌سازی دوهدفه به منظور بهبود کیفیت گروه‌بندی موجودی بر اساس آنالیز ABC ارائه شده است. تابع هدف اول سود خالص اقلام موجود در انبارمرکزی (سطح ۲) و تابع هدف دوم نیز سود خالص اقلام موجود در بخش‌های مختلف (سطح ۳) را در شرایط عدم‌قطعیت بیشینه می‌کنند. مدل به طور همزمان تعداد گروه‌های موجودی، سطح خدمات مربوط به هر گروه و اقلام اختصاص داده شده به گروه‌ها را با توجه به محدودیت‌ها، کمبود موجودی، در نظر گرفتن هزینه‌های سفارش‌دهی و خرید بهینه می‌کند. به منظور حل مدل ارائه شده از روش‌های ابتکاری و دقیق از جمله معیار جامع و اپسیلون محدودیت اصلاح شده استفاده شده است. سپس به منظور مقایسه روش-های ذکر شده از آزمون فرض آماری استفاده شده و نهایتا با استفاده از روش AHP برترین و کاراترین روش حل انتخاب شده است. نتایج نشان‌دهنده‌ی برتری روش اپسیلون محدودیت بود؛ در ادامه به منظور اعتبارسنجی مدل از یک مجموعه مثال عددی استفاده شده که نشان‌دهنده‌ی بهبود و کارایی مدل ارائه شده در کنترل موجودی انبار بوده است.

واژگان کلیدی: آنالیز ABC، کنترل موجودی، بهینه‌سازی دوهدفه، زنجیره‌تامین سه‌سطحی، روش‌های ابتکاری و دقیق.

* دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران

** نویسنده مسئول: استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران
m.khakestari@khu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

به منظور ایجاد یک سیستم کنترل موجودی عالی و بی نقص باید موجودی ها را بر اساس شاخص‌های مناسب در دسته‌های معنی‌داری طبقه‌بندی کرد. تاکنون مدل‌ها و روشهای متفاوتی به منظور طبقه‌بندی موجودی‌ها ارائه شده است که در بین این‌ها رویکرد آنالیز ABC یکی از رایجترین روش‌ها می‌باشد که به صورت وسیعی برای برنامه‌ریزی و کنترل موجودی‌ها به کار برده می‌شود[۹]. طبقه‌بندی موجودی‌ها بر اساس آنالیز ABC این توانایی را به سازمان می‌دهد که موجودی‌های خود را در دسته‌های معنی‌داری طبقه‌بندی کند و به طور کلی بر اساس اصل پارتو شکل گرفته است که این اصل به قانون ۸۰-۲۰ نیز معروف است. در مورد موجودی‌های سازمان‌ها این اصل به این صورت بیان می‌شود که تنها ۲۰ درصد موجودی‌ها ۸۰ درصد هزینه کل سالیانه سیستم موجودی را تشکیل می‌دهند و ۸۰ درصد باقی‌مانده تنها ۲۰ درصد هزینه‌ها را شامل می‌شوند. نتیجه چنین تجزیه و تحلیلی نشان می‌دهد که باید طبقه A بسیار، طبقه B کم و طبقه C از همه کمتر کنترل شوند.

بدیهی است که در دنیای صنعتی امروز با توجه به افزایش تنوع مشخصه‌های کنترل موجودی، طبقه‌بندی موجودی‌ها بر اساس رویکرد ABC تک شاخصه قادر به پاسخگویی تمامی نیازهای سیستم کنترل موجودی سازمان نیست و ممکن است که شاخص‌های دیگری در زمینه مدیریت و طبقه‌بندی موجودی‌ها وجود داشته باشد؛ معیارهایی از قبیل نرخ مصرف[1]، زمان تاخیر[2]، هزینه‌های مربوط به موجودی و... که احتمال دارد تعدادی از این شاخص‌ها اهمیت بیشتری را نسبت به دیگری داشته باشند[۲۳]. امروزه بحث مربوط به مدیریت موجودی‌ها و ایجاد سیستم‌های کنترل موجودی مناسب برای تمامی سازمان‌ها به چالشی بزرگ تبدیل شده است و همین امر ضرورت تحقیق در این زمینه را آشکار می‌کند. از طرفی دیگر، امروزه درصد زیادی از کل سرمایه سازمان‌ها را موجودی‌ها تشکیل می‌دهند. در کشورهای توسعه-یافته و در حال توسعه سرمایه نگهداری شده در موجودی‌ها در هر مقطع از زمان بسیار زیاد است، پس نبودن کنترل و سیستم کنترل موجودی مناسب مشکلات متعددی را برای سازمان‌ها

1 Usage rate
2 Lead time

www.SID.ir

Archive of SID

ایجاد می‌کند که برخی از این مشکلات عبارتند از: تمام سازمان‌ها با هزینه‌های مرتبط با موجودی‌ها مانند هزینه نگهداری، سفارش‌دهی، کمبود و... رو به رو هستند که نبود یک سیستم کنترل موجودی مناسب می‌تواند باعث افزایش هر کدام از هزینه‌های نامبرده شود. در برخی از سازمان‌ها ممکن است که کمبود موجودی باعث توقف فرآیند تولید گردد و سازمان با مشکل عدم تحویل به موقع محصول به مشتریان و در نتیجه افزایش هزینه کمبود مواجه شود. در بعضی موارد نیز سازمان ممکن است با افزایش بیش از حد موجودی روبه‌رو شود که در این مورد نیز هزینه نگهداری موجودی افزایش می‌یابد؛ پس در هر دو حالت عدم وجود سیستم کنترل موجودی مناسب اثرات منفی را در سود سازمان‌ها خواهد داشت.

با توجه به موارد ذکر شده بسیاری از مسائل محققان مدل‌های مختلفی را برای طبقه‌بندی موجودی‌ها به خصوص بر اساس آنالیز ABC ارائه و مورد بررسی قرار داده‌اند. روش گروه-بندی و کنترل موجودی بر اساس آنالیز ABC دارای معایب متعددی است: الف) طبق تحقیق تیونتر و همکاران (۲۰۱۰)[1] [۲۶]، هیچ راهنمای مشخصی در ادبیات تحقیق برای تعیین سطح خدمات برای هرگروه وجود ندارد، ب) از آنجایی که تصمیم‌گیری گروه‌بندی، مستقل از و قبل از تصمیم‌گیری در مورد سطح‌خدمات است، یعنی از تعامل آنها استفاده نشده‌است، بنابراین هیچ‌یک از دو تصمیم نمی‌تواند بهینه باشد، ج) از آنجایی که بودجه موجود تا آخرین مرحله در نظر گرفته نشده‌است، هیچ تضمینی وجود ندارد که تصمیم‌گیری در مورد گروه-بندی و یا خدمات ارائه‌شده در دو مرحله اول امکان‌پذیر باشد. بنابراین شخص اغلب تا زمان دستیابی به بهینگی، باید در تصمیم‌گیری در مورد گروه‌بندی یا سطح‌خدمات به طور مکرر تجدیدنظر کند که وقتی تعداد اقلام موجودی زیاد باشد، می‌تواند یک روند خسته‌کننده باشد و ممکن است منجر به راه‌حل‌های غیربهینه شود. این نواقص باعث شده است تا یک روش جدید بهینه‌سازی را برای بهبود گروه‌بندی موجودی بر اساس آنالیز ABC حاضر و کنترل تصمیم‌گیری‌ها توسعه دهیم.

1 Teunter, et al .

www.SID.ir

Archive of SID

باقی‌مانده این مقاله به این صورت تنظیم شده است: در قسمت دوم به مرور ادبیات در این زمینه پرداخته شده است. قسمت سوم در مورد تشریح مدل ریاضی است. در قسمت چهارم مدل ریاضی به همراه جزئیات دقیق آن ارائه شده است. در قسمت پنجم به معرفی روشهای حل پرداخته شده است که برای حل مدل از روشهای حل دقیق و ابتکاری استفاده شده است. در قسمت ششم برای اعتبار بخشیدن به مدل مثال‌های عددی مختلفی آورده شده است و همچنین انتخاب بهترن روش و آنالیز آماری و تعیین تعداد بهینه گروه‌های موجودی نیز در این قسمت انجام شده است. در نهایت، قسمت هفتم شامل نتیجه‌گیری از کارهای صورت گرفته در این مقاله و ارائه پیشنهادات برای تحقیقات آتی است.

مرور ادبیات

برای اولین بار فورد هریس[1] در سال ۱۹۱۵ از موسسه وستینگهاوس فرمول ساده اندازه انباشته را درزمینه کنترل موجودی‌ها ارائه کرد [۱۳]. از آن به بعد همین فرمول به ظاهر مستقل توسط افراد بسیاری توسعه داده شد. این فرمول به نام فرمول ویلسن نیز شناخته می‌شود زیرا به عنوان بخش لازم و کاملی از طرح کنترل موجودی به وسیله آر.اچ. ویلسون[2] مطرح شد. همچنین مقاله‌ای که به وسیله آرو همکاران (۱۹۵۱)[3] [۶] ارائه شد یکی از مقالاتی بود که تجزیه و تحلیل قاطعی از یک مدل ساده موجودی را ارائه می‌کرد و به وسیله ریاضیدانانی همچون ماسارت[4] (۱۹۹۰) [۱۹] دنبال شد. تحقیقات زیادی در زمینه طبقه‌بندی موجودی‌ها بر اساس رویکرد ABC چندشاخصه برای بهبود کنترل موجودی‌های انبار در سالهای اخیر انجام شده است. تحقیق لوپز–سوتو و همکاران (۲۰۱۷)[5] [۱۸] یکی از این موارد است. چاکراوارتی (۱۹۸۱)[6] [۸] یک مدل پویا را به منظور طبقه‌بندی موجودی‌ها ارائه کرد که در این مدل موجودی‌ها بر اساس افزایش زمان هر واحد تقاضا و هزینه نگهداری هر واحد طبقه‌بندی

1 .Ford Harris
2 .R. H. Wilson
3 .Arrow, et al.
4 .Massart
5 .Lopez-Soto ,et al.
6 .Chakravarty

www.SID.ir

Archive of SID

شدند. از مهمترین نقاط قوت این مدل این بود که هزینه‌های کل را حداقل می‌کرد و از مهمترین نقاط ضعف آن طولانی بودن زمان اجرا بود. فلورس و وای بارک (۱۹۸۷)[۱] [۱۴] یک رویکرد ماتریسی دوشاخصه را به منظور طبقه‌بندی موجودی‌ها ارائه کردند که قادر بود کنترل جامعی را برای موجودی‌ها ایجاد کند. رویکرد ارائه شده توسط آنها اقلام موجودی را بر اساس طبقه‌بندی استاندارد ABC بر حسب هر شاخص طبقه‌بندی کرد و سپس این دو گروه تک‌شاخصه به وسیله یک ماتریس مزدوج با هم ترکیب شدند. یکی از معایب بزرگ این رویکرد این بود که بیش از دو یا سه شاخص بسیار پیچیده شدند و کاربردی نداشتند. کوهن و ارنست (۱۹۸۸)[۲] [۱۰] یک مدلی را به منظور طبقه‌بندی موجودی‌ها ارائه کردند که در این مدل تنها از یک شاخص ارزش سالیانه دلاری[۳] به منظور طبقه‌بندی موجودی‌ها استفاده شد. گوونیر و ارل (۱۹۸۸)[۴] [۱۵] یک الگوریتم ژنتیک چندشاخصه را به منظور طبقه‌بندی موجودی‌ها ارائه کردند. در اصل این مدل وزنهای شاخص‌ها را در هنگام طبقه‌بندی موجودی‌ها تعیین می‌کرد که این مدل در مقایسه با روش ای اچ پی[۵] نتایج بهتری را نشان داد. ون ایجس وهمکاران (۱۹۹۲)[۶] [۲۸] تحقیقی را در زمینه طبقه‌بندی اقلام موجودی انجام دادند. نتیجه این تحقیق بیان می‌کرد که دو نوع استراتژی طبقه‌بندی با تقاضای مشخص وجود دارد که عبارتنداز: گروه‌بندی مستقیم و غیرمستقیم. در استراتژی گروه‌بندی غیرمستقیم فرض بر این است که یک فاصله سفارش پایه[۷] را در نظر گرفته و دیگر فواصل سفارش مضرب خطی از فاصله سفارش پایه در نظر گرفته می‌شد. پرتووی و بورتون (۱۹۹۳)[۸] [۲۲] از ای اچ پی به منظور طبقه‌بندی موجودی‌ها استفاده کردند. این گونه طبقه‌بندی هم معیارهای کمی و هم معیارهای کیفی را مورد توجه قرار می‌داد.

1 .Flores & Whybark
2 .Cohen & Ernst
3 .Annual dollar usage
4 .Guvenir & Erel
5 .Analytical hierarchy process) AHP(
6 .Van Eijs, et al.
7 .Basic order interval
8 .Partovi & Burton

www.SID.ir

Archive of SID

ان جی (۲۰۰۷)[1] [۲۱] مدل ساده‌ای را به منظور طبقه‌بندی چندشاخصه موجودی‌ها پیشنهاد کرد که در اصل این مدل مقیاس‌های تمامی شاخصهای موجود را در یک مقیاس واحد پوشش می‌داد. تحقیق انجام شده در این مقاله نشان داد که با تبدیل مناسب مقیاس شاخصهای مختلف طبقه‌بندی موجودی‌ها، سازمانها می‌توانند بدون نیاز به بهینه‌سازی خطی به مقیاس‌هایی از اقلام موجودی برسند و همچنین مدل این مقاله می‌تواند به صورت گسترده‌ای توسط سازمان‌هایی با حداقل سابقه در بهینه‌سازی مورد استفاده قرارگیرد. شاخصهای مورد بررسی در این مقاله عبارتند از: ارزش مصرف سالیانه، میانگین هزینه هر واحد و زمان تاخیر. ژو و فان (۲۰۰۷)[2] [۳۰] شکل پیشرفته‌تری از مدل راماناتان (۲۰۱۰)[3] [۲۴] را ارائه دادند. مدل راماناتان یک مدل بهینه‌سازی خطی موزون را به منظور طبقه‌بندی موجودی‌ها بر اساس رویکرد ABC چندشاخصه ارائه می‌کرد اما این مدل ممکن بود منجر به وضعیتی شود که تعدادی از موجودی‌ها با درجه اهمیت بسیار بالا بر اساس شاخص بی‌اهمیتی به طور نامناسب در دسته A طبقه‌بندی شوند. بنابراین این مقاله به منظور جلوگیری از وقوع چنین حالت‌هایی، مدلی را ارائه کرد که این مدل با استفاده از دو مجموعه از وزنهایی که بیشترین سازگاری و کمترین سازگاری را برای هر کدام از اقلام موجودی دارند شاخص منطقی‌تر و جامع‌تری را برای طبقه‌بندی موجودی‌ها ارائه کند.

چو و همکاران (۲۰۰۸)[4] [۱۱] رویکرد جدیدی در زمینه کنترل موجودی ارائه دادند که این رویکرد $ABC\text{-}Fuzzy$ بود. این رویکرد قادر بود متغیرهای عددی و غیرعددی را کنترل کند و به سادگی درتمامی سازمان‌ها قابل اجرا است. نتایج تحقیق به این صورت بود که از بین ۱۹۲ قلم موجودی، ۵۹ قلم به عنوان گروه بسیار مهم، ۶۹ قلم به عنوان گروه مهم و سایر اقلام به عنوان گروه غیر مهم تعریف شدند. تسائی و وای یاه (۲۰۰۸)[5] [۲۷] الگوریتم ازدحام ذرات [6] چندهدفه را به منظور طبقه‌بندی موجودی‌ها ارائه دادند که در تحقیق آنها یک رویکرد

1 .Ng
2 .Zhou & Fan
3 .Ramanathan
4 .Chu, et al.
5 .Tsai & Wei Yeh
6 .Particle Swarm Optimizations (PSO(

www.SID.ir

Archive of SID

بهینه‌سازی در مورد مشکلات مربوط به طبقه‌بندی موجودی‌ها درشرایطی که اقلام موجودی باید بر اساس هدف یا اهداف چندگانه‌ای از قبیل حداقل کردن هزینه‌ها، حداکثر سازی نرخ گردش موجودی و... طبقه‌بندی شوند، پیشنهاد شد. الگوریتمی که در این مقاله ارائه شد توانست به منظور ترکیب هدفهای متفاوت مورد استفاده قرار گیرد و مزیت دیگر این الگوریتم این بود که قادر بود تعداد بهینه‌ای از گروه‌های طبقه‌بندی را تعیین کند و در عین حال طبقه‌بندی موجودی‌ها را نیز تکمیل کند. همچنین دقت طبقه‌بندی موجودی‌ها بر اساس این رویکرد بسیار بالاتر از سایر روش‌ها بود. آنالیز چندمعیاره ABC اغلب رویکرد جبرانی را برای تجمیع معیارها لحاظ می‌کند، یعنی ضعف موجودی در یک معیار با عملکرد خوب آن در معیارهای دیگر جبران می‌شود. $ELECTRE\ TRI$ از مدل‌های مبتنی بر روابط برتری است که این رویکرد را در محاسبات لحاظ می‌کند، ولی با توجه به پیچیدگی و هزینه بربودن، این مدل در تعیین مقادیر ترجیحات تصمیم گیرندگان (پارامترها)، از اقبال خوبی برخوردار نبوده است. بدین منظور در مقاله زرین‌صدف و دانشور (۱۳۹۵) [۳] روشی ارائه شد که با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات، مقادیر تمام پارامترها را از داده‌های آموزشی شامل تصمیمات قبلی تصمیم‌گیرندگان یاد می‌گیرد و در طبقه‌بندی موجودی‌های جدید به کار می‌برد.

در مقاله هادی-ونچه (۲۰۱۰)[۱] [۱۶] شکل گسترده‌تری از مدل غیر خطی (NP) برای طبقه-بندی موجودی‌ها بر اساس چند شاخص متفاوت ارائه شد. مدل ارائه شده در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی بود که مجموعه مشترکی از وزنها را برای تمام اقلام تعیین کرد. یو (۲۰۱۱)[۲] [۲۹] تحقیقی برای مقایسه تکنیک‌های طبقه‌بندی براساس هوش مصنوعی و تکنیک-های طبقه‌بندی سنتی[۳] انجام دادند. تکنیک‌های مبتنی بر AI[۴] که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته‌اند عبارتنداز: تکنیک SVM[۵] ، BPN[۶]و $K\text{-}NN$[۷] که نتیجه اول نشان داد که

1 .Hadi-Vencheh
2 .Yu
3 .Traditional multiple discriminal analysis
4 .Artificial intelligence
5 .Support vector machines
6 .Back propagation networks
7 .K-nearest neighbor

www.SID.ir

Archive of SID

تکنیک‌های مبتنی بر AI دقت بیشتری را در طبقه‌بندی موجودی‌ها دارند و نتیجه دوم این بود که براساس تجزیه و تحلیل‌های آماری تکنیک SVM نسبت به دو تکنیک دیگر (BPN و $K\text{-}NN$) دقت بیشتری در طبقه‌بندی داشت و در انتها این مقاله پیشنهاد می‌کند که سازمان‌ها می‌توانند در سیستم های برنامه‌ریزی منابع سازمان ERP[1] به منظور طبقه‌بندی موجودی‌های بر اساس رویکرد ABC چندشاخصه از تکنیک‌های AI استفاده کنند. و نهایتا در تحقیق کعبی و همکاران (۲۰۱۵)[2] [۱۷] از تاپسیس برای محاسبه امتیاز هر قلم موجودی و از الگوریتم $CVNS$[3] برای ایجاد معیار وزن‌ها استفاده شد و در نهایت طبقه‌بندی موجودی با توجه به معیار وزن اقلام صورت گرفت. روش مورد استفاده در این تحقیق، ALM[4] بود که بر اساس روش تاپسیس و الگوریتم $CVNS$ است.

در حوزه طبقه‌بندی ABC چند معیاره موجودی مدل‌های متعددی توسط پژوهشگران داخلی ارائه شده است. صفائی‌قادیکلانی و اسماعیل‌زاده (۱۳۹۰) [۴] در پژوهش خود از تکنیک‌های ادغامی جهت مقایسه نتایج بدست آمده از مدل‌های مختلف طبقه‌بندی ABC چندمعیاره موجودی استفاده کرده‌اند. مدل ارائه شده جهت تعیین مناسب‌ترین مدل، بسیار ساده و قابل به کارگیری جهت مقایسه هر تعداد مدل می باشد. ناظمی و همکارن (۱۳۹۰) [۵] در پژوهش خود ابتدا با توجه به روش ABC، ۷۷ قلم از مواد اولیه را به سه گروه تقسیم بندی کردند. در این تحقیق رویکردی تلفیقی از الگوهای فازی و ABC مورد استفاده قرار گرفت که دستاورد قابل توجهی در جهت روشن سازی کار با متغیر اسمی و غیراسمی ارائه کرد. از آنجا که کمبود یا در مواردی نبودن مواد اولیه در بازار سبب ایجاد مشکلاتی برای واحدهای تولیدی می‌شود، تشخیص دقیق کالاها در سه گروه مذکور با در نظر گرفتن معیارهای کیفی می‌تواند به برنامه‌ریزی در خرید و سیستم کنترل موجودی شرکت‌ها کمک شایانی نماید. اسماعیل‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) [۲] با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات چندهدفه[5] که نوعی الگوریتم

1 .Enterprice resource planning
2 .Kaabi, et al.
3 .Continuous valued number system
4 .Automatic learning method
5 .Multiple Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO(

www.SID.ir

Archive of SID

تکاملی و همگراست، به دنبال تعیین تعداد طبقات موجودی بودند. در این راستا با توجه به اهداف حداقل کردن هزینه‌های انبار و سفارش‌دهی و افزایش نرخ گردش موجودی، تعداد طبقات تعیین می‌شود. در این پژوهش نخست اینکه محدودیتی در تعداد طبقات وجود نداشت زیرا روش ارائه شده پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها تعداد طبقه‌ها را تعیین می‌کند، در صورتی‌که در روش‌های ارائه شده قبلی اقلام باید در سه طبقه گروه‌بندی می‌شدند. دوم اینکه هدف اصلی روش ارائه شده در این پژوهش تعیین نوع طبقه نیست بلکه فقط تعداد طبقه‌ها را بدست می‌آورد. سوم اینکه یکی از مهمترین اهداف مدیران موجودی (حداقل کردن مجموع هزینه‌های سفارش‌دهی و نگهداری) در این پژوهش برآورده می‌شود. فرض یکسان بودن سطح اهمیت اقلام در طبقه‌بندی آنها می‌تواند اشتباه باشد. اسماعیل‌زاده و الفت (۱۳۹۵) [۱] سه رویکرد جدید جهت تعیین سطح اهمیت اقلام موجودی پیشنهاد دادند. این رویکردها می توانند هزینه های کنترل موجودی را کاهش دهند. نتایج نشان می‌دهند که تعداد اقلام با اهمیت بالا کاهش و تعداد اقلام با اهمیت پایین افزایش می‌یابند . با توجه به اینکه سیاست‌های کنترلی اقلام کم اهمیت نیاز به هزینه‌های کمتری دارند، می‌توان گفت این نتایج هزینه‌های کنترل موجودی را کاهش خواهندداد. هدف اصلی این پژوهش دقیق تر شدن مدیران در طبقه‌بندی و کاهش هزینه‌های کنترل موجودی بود.

برخلاف سایر مدل‌های گروه‌بندی موجودی، مدل این مقاله بر بهینه‌سازی روابط بین درآمد، سطح‌خدمات، سهام موجودی و هزینه‌های مدیریت برای به حداکثررساندن سود تأکید می‌کند. جدول (۱) به بررسی مرورادبیات از نظر ویژگی‌های کلیدی مدل‌سازی می‌پردازد که عبارتنداز: تابع هدف، معیارهای عملکرد (یک یا چندمعیاره)، نوع مدل (خطی یا غیرخطی) ، در نظرگرفتن محدودیت بودجه موجودی، بهینه‌سازی تعداد گروه‌های موجودی، در نظرگرفتن هزینه مدیریت بالاسری برای گروه‌های موجودی و طراحی یک شبکه زنجیره‌تامین. بدیهی است که مدل این مقاله با ارائه ترکیبی از ویژگی‌های مدل‌سازی جدید، به ادبیات تحقیق موجود کمک می‌کند. همچنین باعث می‌شود که مدیران موجودی و خرید تصمیم‌گیری در مورد گروه‌بندی موجودی و سطح‌خدمات را با توجه به بودجه محدود موجودی

www.SID.ir

Archive of SID

انجام دهند. این مدل همچنین به طور همزمان روابط تجاری موجود بین درآمد، سرمایه-گذاری در موجودی و رضایت مشتری (از طریق سطح‌خدمات) را بهینه می‌کند و بودجه یک شرکت را برای هزینه‌های موجودی به صورت بهینه تخصیص می‌دهد. علاوه بر موارد فوق، با استفاده از مفهوم زنجیره‌تامین، یک شبکه پیکره‌بندی زنجیره‌تامین برای مدل این مقاله طراحی شده‌است و یک تابع هدف دیگر (دوم) نیز به مسئله اضافه شده‌است. پس به طور کلی در این مقاله یک شبکه زنجیره‌تامین روبه جلوی سه‌سطحی دوهدفه با یک تابع هدف مربوط به سود خالص انبارمرکزی (سطح ۲) و یک تابع هدف مربوط به سود خالص بخش‌های مختلف (سطح ۳) درنظر گرفته شده‌است. همچنین در این مقاله، در نظرگرفتن محصولات در بسته‌های مختلف، سیاست‌های کنترل موجودی مانند کمبود موجودی، محدودیت فضای سطوح زنجیره‌تامین و هزینه‌های نگهداری و سفارش‌دهی نیز لحاظ گردیده و از این جهت مدل به واقعیت بیشتر نزدیک شده است.

جدول (۱): مقایسه ویژگی‌های مدل‌های مختلف گروه‌بندی موجودی

شماره منبع	تابع هدف	معیار	نوع مدل	محدودیت بودجه	بهینه-سازی گروه‌ها	مدیریت هزینه	طراحی زنجیره-تامین
فقط بهینه‌سازی طبقه‌بندی موجودی							
[۱۰]	حداقل‌کردن تعداد گروه‌ها	چندمعیاره	خطی	خیر	بله	خیر	خیر
[۱۵]	حداقل‌کردن فاصله رتبه‌بندی کارشناسی‌شده	چندمعیاره	غیرخطی	خیر	خیر	خیر	خیر
[۲۳]	حداقل‌کردن فاصله رتبه‌بندی کارشناسی‌شده	چندمعیاره	غیرخطی	خیر	خیر	خیر	خیر
[۲٤]	حداکثرکردن امتیازات عملکردی	چندمعیاره	خطی	خیر	خیر	خیر	خیر

www.SID.ir

Archive of SID

[۷]	حداقل‌کردن فاصله از نقطه ایده‌آل	چندمعیاره	خطی	خیر	خیر	خیر	خیر
[۲۱]	حداکثرکردن امتیازات عملکردی	چندمعیاره	خطی	خیر	خیر	خیر	خیر
[۱۶]	حداکثرکردن امتیازات عملکردی	چندمعیاره	غیرخطی	خیر	خیر	خیر	خیر
[۱۱]	حداکثرکردن امتیازات عملکردی	چندمعیاره	خطی	خیر	خیر	خیر	خیر
[۹]	حداقل‌کردن فاصله	چندمعیاره	خطی	خیر	بله	خیر	خیر
[۲۷]	حداکثرکردن امتیازات عملکردی	چندمعیاره	غیرخطی	خیر	بله	خیر	خیر
بهینه سازی گروه بندی موجودی و کنترل اقلام							
[۱۹]	حداقل‌کردن هزینه	تک‌معیاره	غیرخطی	خیر	خیر	خیر	خیر
[۸]	حداقل‌کردن هزینه	تک‌معیاره	خطی	خیر	بله	خیر	خیر
[۱۸]	حداقل‌کردن هزینه	تک‌معیاره	خطی	خیر	بله	خیر	خیر
[۶]	حداقل‌کردن بودجه موجودی	تک‌معیاره	غیرخطی	خیر	خیر	خیر	خیر
[۲۶]	حداقل‌کردن هزینه	تک‌معیاره	غیرخطی	خیر	خیر	خیر	خیر
این مقاله	حداکثرکردن سود	تک‌معیاره و چندمعیاره	خطی	بله	بله	بله	بله

تشریح مدل ریاضی

در این قسمت به توسعه مدل ریاضی پرداخته شده است. برای این کار از رویکرد زنجیره‌تامین استفاده شده است. مسئله با دو نوع از عوامل مدلسازی شده است: یک انبارمرکزی و U بخش مختلف یا انبارهای محلی. در مدل ما انبارمرکزی و بخش‌های مختلف دارای تقاضاهایی هستند و انبارمرکزی تصمیم می‌گیرد چقدر از هر قلم کالا به چه بخشی ارسال شود و همچنین

www.SID.ir

Archive of SID

ما فرض کرده‌ایم هم انبارمرکزی و هم انبارهای محلی دچار کمبود می‌شوند، پس برای آن هزینه‌ای در نظر گرفته شده است. هزینه خرید اقلام از تامین‌کنندگان و هزینه سفارش‌دهی نیز برای هر بار سفارش در نظر گرفته شده است. همچنین سطح موجودی نیز برای انبارمرکزی و برای هر بخش در نظر گرفته شده است. پس با توجه موارد ذکر شده مدل ریاضی به یک مدل دوهدفه توسعه یافته است که تابع هدف اول آن مربوط به سود ناخالص و هزینه‌های انبار-مرکزی و تابع هدف دوم آن نیز مربوط به سود ناخالص و هزینه‌های بخش‌های مختلف می-باشد. همانطور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، زنجیره‌تامین پیشنهادی از سه سطح تشکیل شده است. اولین سطح، شامل تامین‌کنندگان می‌شود. دومین سطح، شامل یک انبارمرکزی است و آخرین سطح هم شامل انبارهای محلی می‌باشد که کالاهای مورد نیاز آنها از انبار-مرکزی تامین می‌شود. ما برای هر سطح یک ظرفیتی را مشخص کردیم که مشخص‌کننده مقدار مجاز اقلامی است که می‌تواند درون همان سطح قرار بگیرد پس محدودیت ظرفیت نیز یکی دیگر از عواملی است که برای توسعه مدل از آن استفاده شده است. همچنین این زنجیره‌تامین چند دوره‌ای می‌باشد که در دوره‌های مختلف برخی از پارامترها و متغیرهای تصمیم مدل مقادیر مختلفی را به خود اختصاص می‌دهند. در مدل سازی مسئله انبارمرکزی می‌تواند اقلام مورد نیاز خود را از چندین تامین‌کننده مختلف خریداری کند و به چندین انبار محلی (بخش‌های مختلف) تحویل دهد اما بخش‌های مختلف نمی‌توانند به صورت مستقیم از تامین‌کنندگان اقلام مورد نیاز خود را خریداری کنند.

برای هر تحویل (از تامین‌کننده به انبارمرکزی یا از انبارمرکزی به بخش‌ها) یک هزینه ثابت وجود دارد (هزینه سفارش‌دهی) که به مواردی از قبیل: فاصله، منابع مورد نیاز انسانی، زمان مورد نیاز و... بستگی دارد. در انبارمرکزی اقلام موجود به گروه‌های مختلفی دسته بندی شده اند تا مدیریت اقلام بهتر باشد و این گروه‌بندی بر اساس آنالیز ABC صورت گرفته است بنابراین امکان ارسال دسته ای و گروهی اقلام از انبارمرکزی به بخش‌ها نیز وجود دارد. به طور کلی خروجی‌های این مدل عبارتند از:

- ✓ مقدار اقلام خریداری شده توسط انبارمرکزی در هر دوره و توسط هر تامین‌کننده

www.SID.ir

Archive of SID

- ✓ مقدار اقلامی که در انبارمرکزی ذخیره می‌شوند
- ✓ مقدار اقلامی که (چه به صورت دسته ای یا تکی) به هر بخش در هر دوره تحویل داده می‌شود
- ✓ مقدار اقلامی که در هر بخش ذخیره می‌شوند

مقدار اقلامی که در هر دوره به هر بخش تحویل داده می‌شود با یک پارامتری به نام f که نشان‌دهنده تعداد اقلام موجود در دسته‌های سفارش داده شده است، مشخص می شوند. در ادامه به تشریح سطح موجودی انبارمرکزی و بخش‌های مختلف پرداخته می‌شود.

N قلم کالا را در نظر بگیرید. هر قلم کالا یک تقاضای متوسط ماهانه d و انحراف معیار σ دارد. تقاضا برای هر SKU[1] از توزیع $N(d, \sigma)$ پیروی می‌کند. زمان تحویل هر قلم موجودی برابر با h است و π درآمد ناخالص هر قلم کالا است. برای ساده‌کردن فرآیند مدیریت موجودی و کاهش هزینه‌های سربار، مدیر موجودی وظیفه دارد که کالاها را به گروه‌های مختلفی طبقه‌بندی کند، سپس یک سطح خدمت را برای هر گروه تنظیم کند. پس، هر گروه موجودی در انبارمرکزی دارای یک سطح خدمت β_{jt} است. هزینه نگهداری موجودی برای هر SKUبرابر e است. مدل مسئله همچنین دارای بودجه کل ثابت و محدود D برای انبار کردن محصولات در انبارمرکزی و بخش‌های مختلف است.. هنگامی که تقاضا به طور نرمال توزیع می‌شود، سطح موجودی هر SKUدر انبارمرکزی برای رسیدن به β_{jt} (در گروه j) می‌تواند به روش استاندارد محاسبه شود که به صورت معادله (۱) است. [۲۰]

$$\delta_{ijt}^2 = d_{it}^2 h_{it}^2 + Z_j \sigma_i \sqrt{h_{it}^2} \qquad (۱)$$

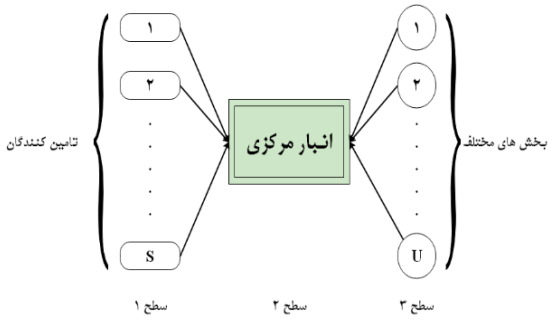
که Z_j مقدار Z مربوط به β_{jt} در توزیع نرمال استاندارد است. به طور کلی سطح موجودی در معادله (۱) می‌تواند منفی شود اگر: الف) Z_j منفی شود (β_{jt} کمتر از ۵۰ درصد باشد)، ب) انحراف معیار بزرگ باشد (تغییرات زیادی در تقاضا باشد) و ج) زمان تحویل طولانی باشد. [۲۰]

1 Stock Keeping Unit

www.SID.ir

Archive of SID

از دیدگاه مدیریت هزینه θ_j برای نگهداری و مدیریت هر گروه موجودی وجود دارد. این هزینه ممکن است شامل هزینه‌های خرید و هزینه‌های اداری برای هر گروه نیز باشد. در این مقاله فرض شده که θ_j متغیر است و تابعی از تعداد گروه‌های موجودی است.



شکل (۱): شبکه زنجیره‌تامین پیشنهادی

مدل ریاضی

با در نظر گرفتن موارد قسمت قبل، یک مدل ریاضی ارائه شده که از نوع برنامه‌ریزی خطی عددصحیح مختلط[1] می‌باشد. مجموعه‌ها، پارمترها و متغیرهای مدل ریاضی به صورت زیر هستند:

مجموعه‌ها

i مجموعه اقلام موجودی $(SKUs)$

j مجموعه گروه‌های موجودی

s مجموعه تامین‌کنندگان

u مجموعه بخش (انبار)های مختلف

t مجموعه افق برنامه ریزی

1 .Mix integer linear programming

www.SID.ir

Archive of SID

پارامترها

$d_{it}^{۲}$ میانگین تقاضای ماهیانه قلم موجودی i در دوره t و درسطح ۲

$d_{jut}^{۳}$ میانگین تقاضای ماهیانه گروه موجودی jدر بخش u و در دوره t و درسطح ۳

$\sigma_{i}^{۲}$ انحراف معیار تقاضای ماهیانه موجودی i در سطح ۲

$h_{it}^{۲}$ زمان تحویل موجودی i در سطح ۲

$\pi_{it}^{۲}$ سود ناخالص موجودی i در دوره t در سطح ۲

$\pi_{jut}^{۳}$ سود ناخالص گروه موجودی jدر دوره t در سطح ۳

$e_{it}^{۲}$ هزینه نگهداری موجودی i در دوره t در سطح ۲

$e_{jut}^{۳}$ هزینه نگهداری گروه موجودی jدر بخش u در دوره t در سطح ۳

θ_{j} هزینه متغیر مدیریت بالاسری برای گروه موجودی j

N تعداد کل اقلام موجودی ($SKUs$)

M عدد تصادفی بزرگ

D بودجه کل موجودی

β_{jt} سطح سرویس مربوط به گروه موجودی jدر دوره t

Z_j مقدار Z تابع نرمال استاندارد مربوط به سطح سرویس α از گروه موجودی j

CO_{ist} هزینه خرید موجودی i بوسیله انبارمرکزی از تامین‌کننده s در دوره t

$O_{ist}^{۲}$ هزینه ثابت سفارش‌دهی موجودی i بوسیله انبارمرکزی از تامین‌کننده s در دوره t در سطح ۲

$O_{jut}^{۳}$ هزینه ثابت سفارش‌دهی گروه موجودی jبوسیله بخش u از انبارمرکزی در دوره t در سطح ۳

$CL_{ijt}^{۲}$ هزینه ثابت کمبود موجودی i در گروه موجودی jدر دوره t در سطح ۲

$CL_{jut}^{۳}$ هزینه ثابت کمبود گروه موجودی jدر بخش u در دوره t در سطح ۳

$CP_{ist}^{۱}$ ظرفیت تامین‌کننده s برای موجودی i در دوره t در سطح ۱

www.SID.ir

Archive of SID

$CP_{it}^{۲}$ ظرفیت انبارمرکزی برای موجودی i در دوره t در سطح ۲

$CP_{jut}^{۳}$ ظرفیت بخش u برای موجودی i در دوره t در سطح ۳

f_{ijt} مقدار موجودی i در گروه موجودی jدر دوره t

متغیرهای تصمیم

$V_{it}^{۲}$ سطح موجودی قلم i در انبارمرکزی در دوره t در سطح ۲

$Q_{jut}^{۳}$ سطح موجودی قلم i در گروه jدر بخش u در دوره t در سطح ۳

q_{ist} مقدار موجودی i تحویل داده شده از تامین‌کننده s در دوره t

Z_{jut} تعداد گروه موجودی سفارش داده شده از طرف بخش u در دوره t

$La_{ijt}^{۲}$ مقدار کمبود موجودی i در گروه jدر دوره t در سطح ۲

$La_{jut}^{۳}$ مقدار کمبود گروه موجودی j در بخش u در دوره t در سطح ۳

X_{ijt} ۱: اگر موجودی i به گروه jدر دوره t اختصاص یابد، در غیر اینصورت: ۰

Y_{jut} ۱: اگر گروه موجودی jدر بخش u در دوره t انتخاب شود، در غیر اینصورت: ۰

U_{ist} ۱: اگر تامین‌کننده s موجودی i در دوره t تحویل دهد، در غیر اینصورت: ۰

$$Max\ Z_1 = \sum_i \sum_j \sum_t \pi_{it}^2 d_{it}^2 \beta_{jt} X_{ijt} - \sum_j \sum_u \sum_t \theta_j Y_{jut} - \sum_i \sum_s \sum_t CO_{ist} Q_{ist}^1 - \sum_i \sum_s \sum_t O_{ist}^2 U_{ist} - \sum_i \sum_j \sum_t CL_{ijt}^2 La_{ijt}^2$$

(۲)

$$Max\ Z_2 = \sum_i \sum_j \sum_u \sum_t \pi_{jut}^3 d_{jut}^3 \beta_{jt} Y_{jut} - \sum_j \sum_u \sum_t O_{jut}^3 Y_{jut} - \sum_j \sum_u \sum_t CL_{jut}^3 La_{jut}^3$$

(۳) *Subject to:*

$$\sum_j X_{ijt} \le 1 \qquad \forall i,t \qquad (۴)$$

$$\sum_i X_{ijt} \le N \times Y_{jut} \qquad \forall j,u,t$$

$$M \times U_{ist} \ge Q_{ist}^1 \qquad \forall i,s,t \qquad (۵)$$

(۶)

www.SID.ir

Archive of SID

$$M \times Y_{jut} \geq Z_{jut} \qquad \forall j,u,t \qquad (۷)$$

$$CP^1_{ist} \geq Q^1_{ist} \qquad \forall i,s,t \qquad (۸)$$

$$CP^2_{it} \geq V^2_{it} + \sum_s Q^1_{ist} \qquad \forall i,t \qquad (۹)$$

$$\sum_j CP^3_{jut} \geq \sum_j f_{ijt} Z_{jut} + Q^3_{jut} \qquad \forall u,t \qquad (۱۰)$$

$$V^2_{it} + La^2_{ijt} = \sum_j d^2_{it} h^2_{it} X_{ijt} + \sum_j Z_j \sigma_i \sqrt{h^2_{it}} X_{ijt} + V^2_{it-1} + La^2_{ijt-1} \qquad \forall i,t \qquad (۱۱)$$

$$Q^3_{jut} + La^3_{jut} = \sum_i f_{ijt} Z_{jut} - d^3_{jut} + Q^3_{jut-1} + La^3_{jut-1} \qquad \forall j,u,t$$

$$\sum_i e^2_{it} V^2_{it} + \sum_j \sum_u e^3_{jut} Q^3_{jut} \leq D \qquad \forall t \qquad (۱۲)\ (۱۳)$$

$$Q^1_{ist}, V^2_{it}, Q^3_{jut}, Z_{jut}, La^2_{ijt}, La^3_{jut} \geq 0 \qquad (۱۴)$$

$$X_{ijt}, Y_{jut}, U_{ist} \in [0,1] \qquad (۱۵)$$

تابع هدف (۲) حداکثر کل سود خالص انبارمرکزی را محاسبه می‌کند که هزینه‌ها از آن کم شده است. در اینجا، سطح خدمت یک نرخ ثابت در واحد زمان برای محاسبه مقدار تقاضا است. اگر کالای i در گروه موجودی j با سطح خدمت β_{jt} قرار گیرد، $d^2_{it}\beta_{jt}$ متوسط تقاضای قابل انتظار انبارمرکزی است که می‌تواند بوسیله هر SKU تکمیل شود. عبارت اول در تابع هدف (۲) کل سود ناخالص همه SKU هاست. عبارت دوم هزینه متغیر مدیریت بالاسری گروه‌های موجودی در انبارمرکزی است. عبارت سوم هزینه خرید $SKUs$ از تامین-کنندگان است. عبارت چهارم هزینه سفارش‌دهی اقلام مختلف از تامین‌کنندگان و نهایتا عبارت پنجم هزینه کمبود موجودی در پایان هر دوره است اگر انبارمرکزی با کمبود مواجه شود.

www.SID.ir

Archive of SID

تابع هدف (۳) نیز حداکثر کل سود خالص انبارهای محلی را محاسبه می‌کند که هزینه‌های آنها از آن کم شده‌است. عبارت اول در تابع هدف (۳) سود ناخالص همه گروه‌های موجودی است که کالاها در آنها قرار گرفته‌اند. عبارت دوم، هزینه سفارش‌دهی گروه‌های موجودی از انبارمرکزی است و بالاخره عبارت سوم هزینه کمبود موجودی در پایان هر دوره است اگر بخش‌ها با کمبود مواجه شوند.

محدودیت (۴) یک SKU را به حداکثر یک گروه اختصاص می‌دهد. این امکان وجود ندارد که هر کالایی به هر گروهی تخصیص یابد چون برای هر SKU_i و گروه jام، اگر $\delta_{ijt} > ۰$، کالای i نمی‌تواند به گروه j اختصاص داده شود، یعنی $X_{ijt} = ۰$ [۲۰]. محدودیت (۵) برای این است که یک گروه باید انتخاب شود تا هر SKUبه گروهی اختصاص یابد. به عبارت دیگر، اگر گروه j انتخاب نشده باشد، هیچ SKU را نمی‌توان به گروه j اختصاص داد. محدودیت (۶) و (۷) برای ارتباط بین متغیرهای باینری و متغیرهای مثبت مدل است. محدودیت (۸) ظرفیت محصول تامین‌کننده را مشخص می‌کند و محدودیت (۹) و (۱۰) نیز به ترتیب ظرفیت انبارمرکزی و بخش‌های مختلف را مشخص می‌کنند. محدودیت‌های (۱۱) و (۱۲) میزان موجودی در انبارمرکزی براساس معادله (۱) و میزان موجودی در هر بخش را محاسبه می‌کنند که کمبود نیز به آنها اضافه شده است. محدودیت (۱۳) تضمین می‌کند که هزینه نگهداری موجودی در انبارمرکزی و همچنین بخش‌ها از بودجه ثابت کل بیشتر نشود. محدودیت (۱۴) بیانگر مثبت بودن پارامترهای مدل و محدودیت (۱۵) متغیرهای باینری مدل را مشخص می‌کند. مدل این مقاله از نوع $NP\text{-}hard$است به طوری که هیچ الگوریتم چند جمله‌ای برای حل و بهینه‌سازی آن وجود ندارد. [۲۰]

www.SID.ir

Archive of SID

روش‌های حل پیشنهادی

مسئله بهینه‌سازی چندهدفه

یک مسئله بهینه‌سازی دارای چند تابع هدف است که بایستی کمینه یا بیشینه شوند و همانند مسئله بهینه‌سازی تک‌هدفه، معمولا دارای تعدادی محدودیت است که هر جواب‌شدنی (شامل جواب‌های بهینه) بایستی این محدودیت‌ها را ارضا کند. به دلیل اینکه بجای یک هدف در مسائل بهینه‌سازی چندهدفه، یک بردار هدف وجود دارد به مسائل بهینه‌سازی چندهدفه گاها بهینه‌سازی برداری نیز گفته می‌شود. روش‌ها و الگوریتم‌های حل مختلفی برای این گونه مسائل وجود دارد که چند مورد از آنها در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته‌اند و عباتنداز:

روش معیارجامع[1]

روش معیارجامع جزء اولین دسته از مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه[2] است و به خصوص در مواردی که تصمیم‌گیرنده همه اطلاعات مورد نیاز قبل از حل مسئله را فراهم می‌کند. روش معیار جامع به منظور حداقل‌کردن انحرافات توابع هدف موجود در یک مدل چندهدفه نسبت به حل ایده‌آل آنها است. به عبارت دیگر روش‌معیار جامع به منظور سنجش نزدیکی یک راه حل ایده‌آل مورد استفاده قرار می‌گیرد که رابطه آن به صورت زیر است:

$$\max\left[\sum_i\left(w_i\left|\frac{f_i^*-f_i}{f_i^*}\right|\right)^p\right]^{\frac{1}{p}} \qquad (۱۶)$$

که w_iبیانگر درجه اهمیت (وزن) برای هدف iام است. $1 \le P \le \infty$ بیانگر پارامترهای مشخص کننده خانواده LP است. ارزش P مشخص کننده درجه تأکید بر انحرافات موجود است به گونه‌ای که هر چقدر P بزرگتر باشد تاکید بیشتری بر بزرگترین انحراف خواهد بود و اگر $P = \infty$ شود بدان مفهوم است که بزرگترین انحراف از انحراف‌های موجود برای بهینه‌سازی مدنظر واقع گردد. در این مقاله در فرآیند تک‌هدفه سازی به روش‌معیار جامع

1 .LP-metric
2 .Multi-objective decision making (MODM(

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار $P = ۱$ در نظر گرفته شده‌است تا همانطور که گفته‌شد هریک از انحرافات وزنی متناسب با خود را داشته‌باشند. همچنین مقدار w_i برای هر یک از توابع هدف نیز برابر ۱ درنظر گرفته شده‌است.

روش اپسیلون‌محدودیت اصلاح شده[1]

این روش یکی از رویکردهای شناخته شده برای مواجهه با مسائل چندهدفه است که با انتقال تمامی توابع هدف به جز یکی از آنها در هر مرحله به محدودیت، به حل این نوع مسائل می‌پردازد [۷]. مرز پارتو نیز می‌تواند با روش اپسیلون محدودیت[2] ایجاد شود. [۱۲]

$$\begin{aligned} &\min f_1(x) \\ &x \in X \\ &f_2(x) \le \varepsilon_2 \\ &\dots \\ &f_n(x) \le \varepsilon_n \end{aligned} \qquad (۱۷)$$

گام‌های روش اپسیلون محدودیت به صورت زیر است:

۱. انتخاب یکی از توابع هدف به عنوان تابع هدف اصلی

۲. هر بار حل مسئله با توجه به یکی از توابع هدف $\boldsymbol{F}$ و تعیین مقادیر بهینه هر تابع هدف

۳. تقسیم‌بندی بازه بین دو مقدار بهینه توابع هدف فرعی به تعداد از قبل مشخص‌شده و بدست آوردن یک جدول مقادیر برای $\varepsilon_2,\dots,\varepsilon_n$

۴. حل مسئله هر بار با تابع هدف اصلی و با هر یک از مقادیر $\varepsilon_2,\dots,\varepsilon_n$

۵. گزراش جواب‌های پارتویی یافته‌شده

1 ..Modified ε-constraint

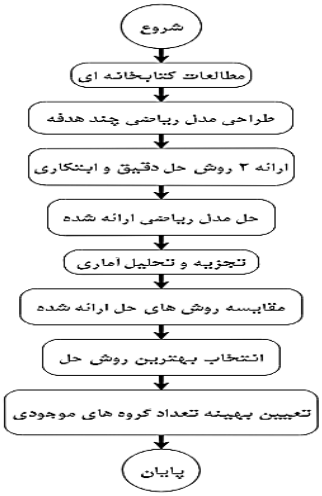
2 .*ε-constraint*

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج محاسباتی

هدف از این بخش، اعتبارسنجی روش‌های حل ارائه شده جهت حل مدل ریاضی پیشنهادی می‌باشد. همانطور که قبلا اشاره شد، در این مقاله یک مدل ریاضی به منظور تعیین تعداد بهینه گروهای موجودی در انبار ارائه گردیده است. دو روش قطعی و ابتکاری شامل روشهای معیار جامع و اپسیلون‌محدودیت اصلاح شده ارائه شده است. این روش‌ها برای حل مدل به کار گرفته شده‌اند. به منظور اعتبارسنجی این دو روش پیشنهادی و مقایسه آنها در پاسخ‌های تولیدی، مدل ریاضی به ازای هر روش در ۱۵ مثال عددی مختلف اجرا شده است. سپس با استفاده از آزمون فرض آماری نتایج این روش‌ها در تمامی مثال‌های عددی با بهره‌گیری از آزمون t با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همچنین از روش AHP به منظور انتخاب روش برتر استفاده شده است. در نهایت با مشخص‌شدن روش حل برتر، بوسیله آن روش، تعداد بهینه گروه‌های موجودی برای انبارمرکزی و بخش‌های مختلف در ابعاد کوچک مشخص شده است. لازم به ذکر است این مقاله از نوع توسعه ای-کاربردی است و داده‌های پژوهش به صورت آزمایشی تولید شده اند. خلاصه این قسمت در شکل (۲) آمده است.



شکل (۲): شمای کلی گام‌های قسمت ششم مقاله

www.SID.ir

Archive of SID

مثال عددی

در این قسمت به منظور ارزیابی مدل ریاضی پیشنهادی برای این شبکه زنجیره‌تامین و روش-های حل ارائه‌شده برای آن، در ابتدا اقدام به تعریف شاخص‌هایی می‌گردد. بدین صورت که سه شاخص شامل مقدار توابع هدف محاسبه‌شده با اجرای مدل توسط هر روش پیشنهادی و همچنین مدت زمان سپری شده توسط آن روش، تعیین شده و با ایجاد مثال‌های عددی مختلف که در جدول (۲) نشان داده شده، روش‌های پیشنهادی با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

جدول (۲): مثال‌های عددی تولید شده برای مدل ریاضی

مثال‌های عددی	*i*	*j*	*s*	*u*	*t*
۱	۳۰	۷	۱۰	۸	۹
۲	۴۰	۵	۷	۶	۱۱
۳	۳۵	۸	۸	۷	۱۰
۴	۵۰	۳	۱۲	۱۱	۵
۵	۶۰	۱۰	۱۵	۹	۷
۶	۲۰	۱۵	۵	۱۲	۸
۷	۳۵	۶	۹	۵	۳
۸	۲۵	۴	۱۴	۱۰	۴
۹	۴۵	۱۲	۴	۱۳	۱۶
۱۰	۴۲	۱۱	۶	۱۵	۱۳
۱۱	۳۲	۱۴	۳	۴	۵
۱۲	۵۰	۲۰	۱۱	۱۵	۱۲
۱۳	۴۴	۹	۸	۶	۸
۱۴	۴۰	۱۶	۷	۸	۶
۱۵	۶۰	۱۷	۱۰	۹	۷

www.SID.ir

Archive of SID

دیگر مقادیر پارامترهای مورد استفاده در این مثال عددی در جدول (۳) نمایش داده شده‌اند که تمامی آنها بر اساس توزیع یکنواخت می‌باشند. در مورد θ_j که متغیر است و تابعی از تعداد گروه‌هاست به این صورت مقدار دهی‌شده که اگر تعداد گروه‌ها بیشتر از ۵ باشد مقدار یکنواخت (۱۲۰و۲۰۰) و در غیر این صورت مقدار یکنواخت (۵۰و۱۰۰) را می‌گیرد.

جدول (۳): مقادیر پارامترهای مورد استفاده در مثال عددی

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
d_{it}^{2}	یکنواخت (۲۰۰۰و۴۰۰۰)	β_{jt}	یکنواخت (۰,۵۰،۰,۹۵)
d_{jut}^{3}	یکنواخت (۴۰۰و۸۰۰)	Z_j	یکنواخت (۱,۳۰و۱,۸۰)
σ_{i}^{2}	یکنواخت (۰,۷۵،۰,۹۵)	CO_{ist}	یکنواخت (۳۰و۵۰)
h_{it}^{2}	یکنواخت (۷و۱۲)	O_{ist}^{2}	یکنواخت (۵۰۰و۸۰۰)
π_{it}^{2}	یکنواخت (۵۰۰و۹۰۰)	O_{jut}^{3}	یکنواخت (۱۰۰و۴۰۰)
π_{jut}^{3}	یکنواخت (۳۰۰و۶۰۰)	CL_{ijt}^{2}	یکنواخت (۷و۱۴)
e_{it}^{2}	یکنواخت (۶و۹)	CL_{jut}^{3}	یکنواخت (۵و۱۰)
e_{jut}^{3}	یکنواخت (۵و۱۰)	CP_{ist}^{1}	یکنواخت (۵۰۰۰۰و۵۵۰۰۰)
θ_j	یکنواخت (۵۰و۱۵۰) یکنواخت (۱۲۰و۲۰۰)	CP_{it}^{2}	یکنواخت (۱۰۰۰۰۰و۱۵۰۰۰۰)
M	۵۰۰۰۰۰	CP_{jut}^{3}	یکنواخت (۵۰۰۰۰و۶۵۰۰۰)
D	۵۰۰۰۰۰۰۰	f_{ijt}	یکنواخت (۱۰و۲۵)

برای حل مدل ریاضی توسط روش‌های ابتکاری ذکرشده از نرم‌افزار گمز نسخه ۲۴,۱,۳ و سالور *CPLEX* و در سیستمی با مشخصات *CPU=Cori7 6700 HQ* و *RAM=16 DDR4 GIG* استفاده شده‌است که نتایج حاصل از اجرای روش‌های معیار جامع و اپسیلون محدودیت بر روی مثال‌های عددی تولیدشده در جداول (۴) و (۵) گردآوری شده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (٤): نتایج حاصل از اجرای مثال‌های عددی به روش معیار جامع

مثال‌های عددی	معیار جامع		
	Z_1	Z_2	مدت‌زمان اجرا
۱	۲۳۳۹۹۲/٤E۸+	۵۰۹٤۹٤/۳E۹+	۰۷٤/۱
۲	۰٤۸۹٤/٦E۸+	۰۷۸۲۰٤/۳E۹+	۳٤۹/۱
۳	۳۲۰۳۰۰/۵E۸+	۵٦۲۹۵۸/٤E۹+	۱۳۱/۱
٤	۵۵۱۹۵۱/٤E۸+	۹۲٤۸۲۱/۱E۹+	۷۲۲/۰
۵	۲٤۱۹٦۹/۷E۸+	۹۲٦۰۷٤/۸E۹+	۳٤۱/۱
٦	۷٤۵۲٤۱/۲E۸+	۸۳۰۳۲۹/٦E۹+	۹۷۳/۰
۷	۹٤۹۷۹۱/۱E۸+	۰۳٤۳۳۳/۷E۸+	۵۸۷/۰
۸	۸۲٤۲۷۵/۱E۸+	۱٦٤٦۵۰/۹E۸+	۵۹۵/۰
۹	۱۲٤٤۲۳/۸E۸+	٦٦۲۵۸/۲E۱۰+	۰۱۸/۱۷
۱۰	۸٤۱۰۳۱/۱E۸+	۵,۱۸۹۸۲۵E۹+	۱٤۸/۱
۱۱	۰۰۰۲٤۵/۳E۸+	۰۹٦۳۵۹/۲E۹+	٦۰٤/۰
۱۲	۰٤٦۳٤۸/۹E۸+	۲٤٦۲۲/٤E۱۰+	۳۵۵/۵۷
۱۳	۹۹۷۸۲۸/۵E۸+	٤۳٤۸٤۰/٤E۹+	۱۱۵/۱
۱٤	٤۷۹۲۸٦/٤E۸+	۱٤٤۵٤۰/۷E۹+	۱۸۸/۱
۱۵	۳۲۲۷۱۹/۷E۸+	۵۳۱۱٦۷/۱E۱۰+	۰۱۳/۲

جدول (۵): نتایج حاصل از اجرای مثال‌های عددی به روش اپسیلون‌محدودیت

مثال‌های عددی	اپسیلون محدودیت		
	Z_1	Z_2	مدت‌زمان اجرا
۱	۲۰٤۸۰۲/٤E۸+	۲٤۲۵۳۲/۱E۹+	۲۰۳/۳۲
۲	۰٤۵۷۲۰/٦E۸+	۰٦۸۸۱۸/۸E۸+	۵۳۳/۳۵
۳	۳۱۸۸۵۱/۵E۸+	۳۷۹۷۱۷/۹E۸+	٤۱۹/۳٤
٤	۵۵۵۹۵۱/٤E۸+	۷۱۵۲۹۰/۸E۸+	۹۱٦/۲۱
۵	۲٤۱۹٦۹/۷E۸+	۰۲۷۲۷۱/۲E۹+	۸۹٤/۹٦

www.SID.ir

Archive of SID

۲۸٦/٤۰	۱۹۷٦۳۱/۱E۹+	۷٤٥۲٤۱/۲E۸+	٦
۷٥۲/۱۲	۹۷۰۹۳۷/۲E۸+	۹٤۹۷۹۱/۱E۸+	۷
۷۲۷/۱۲	۰۲٤۲۰۱/٤E۸+	۸۲٤۲۷٥/۱E۸+	۸
۹۹٦/۱۷٦	٦٤۹۹۷۳/۳E۹+	۰۹٥۲۲٤/۸E۸+	۹
۷۳۷/۷٦	۱۲۹۳۸۰/۳E۹+	۷۲۳۰٥۱/٦E۸+	۱۰
۲۱۷/۱۸	٤٦٦۸۱٥/٥E۸+	۰۰۰۲٤٥/۳E۸+	۱۱
٤۷۸/۳۸٤	۷۷۷٥٤۷/٤E۹+	۰۳٥۳۲۲/۹E۸+	۱۲
٤٦۸/٤۲	۳۸٤۲٥۳/۹E۸+	۹۹۷۸۲۸/٥E۸+	۱۳
۸۰۷/٤٤	۱٥۱۱۹۷۸/۱E۹+	٤۷۹۲۸٦/٤E۸+	۱٤
٥۷۹/۸۳	۸۳۳٥۲٦/۲E۹+	۳۲۲۷۱۹/۷E۸+	۱٥

تحلیل آماری نتایج

به منظور تحلیل نتایج حاصل از دو روش پیشنهادی جهت حل مدل ریاضی و مقایسه آنها با یکدیگر، از آزمون t بهره گرفته شده‌است. با در نظر گرفتن سطح اطمینان ۹۵ درصد، آزمون مقایسه آماری میانگین‌های نتایج دو روش پیشنهادی برای هر سه شاخص ارزیابی تعریف‌شده، انجام می‌گیرد به‌طوری که در هر مقایسه، فرض صفر (H_0) برابر با مساوی بودن میانگین‌های نتایج حاصل از دو روش پیشنهادی و فرض مقابل (H_1) به دنبال رد این فرض می‌باشد. این آزمون فرض برای هر سه شاخص تعیین‌شده یعنی مقادیر توابع هدف و مدت‌زمان اجرای مدل صورت گرفته‌است. نتایج حاصل از این آزمون که با استفاده از مینی تب[1] نسخه ۱۷صورت گرفته در جداول (۶) تا (۸) و شکل (۳) نشان داده شده‌است. بر اساس این نتایج همانطورکه در جداول (۵) تا (۷) نمایش داده‌شده، با توجه به اینکه مقادیر $P\text{-}value$ برای شاخص تابع هدف اول بیشتر از سطح معنی‌داری می‌باشد پس فرض صفر در خصوص شاخص اول پذیرفته می‌شود. بدین‌معنی که بر اساس سطح اطمینان ۹۵ درصد، اختلاف معنی‌داری بین پاسخ‌های حاصل از دو روش حل پیشنهادی از نظر شاخص مقدار تابع هدف اول وجود ندارد. فرض

1. MiniTab

www.SID.ir

Archive of SID

صفر در خصوص شاخص‌های مقدار تابع هدف دوم و مدت‌زمان اجرای مدل رد می‌شود چون مقدار *P-value* آن کمتر از ۰,۰۵ است.

جدول (٦): نتایج آزمون‌فرض آماری برای تابع هدف اول

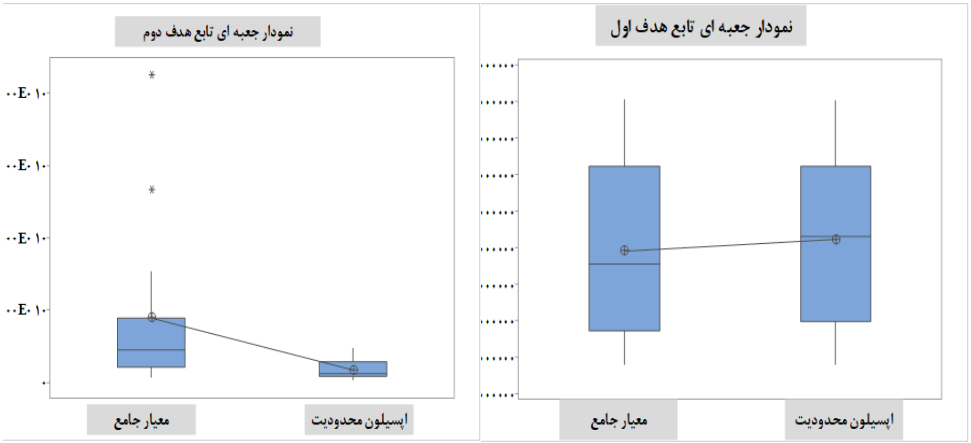
تابع هدف اول	میانگین	انحراف‌معیار	میانگین خطای استاندارد	*P-Value*
معیار جامع	٤٩١٥٤٨٩٨٠	٢٣٦٢٧١٥٦٥	٦١٠٠٥٠٥٦	٧٠٦/٠
اپسیلون محدودیت	٥٢٣٦٠١٨٣٣	٢٢٣٨٩٨٠٩٦	٥٧٨١٠٢٤٠	

جدول (۷): نتایج آزمون‌فرض آماری برای تابع هدف دوم

تابع هدف دوم	میانگین	انحراف‌معیار	میانگین خطای استاندارد	*P-Value*
معیار جامع	٨٩١٤٨٠٢٨٢٠	١١٤٣٤٥٦١٩٦٧	٢٩٥٢٣٩١٢٠٥	٠٢٩/٠
اپسیلون محدودیت	١٦٨١٠٥٦٠٧٣	١٣٣٦٤٣٠٧٢٠	٣٤٥٠٦٤٩٢٨	

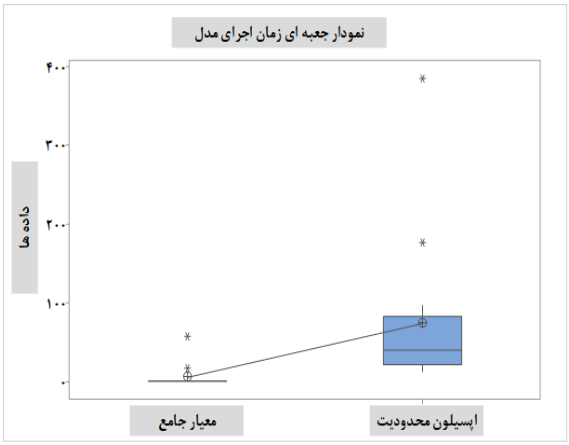
جدول (۸): نتایج آزمون‌فرض آماری برای مدت زمان اجرا

مدت زمان اجرا	میانگین	انحراف‌معیار	میانگین خطای استاندارد	*P-Value*
معیار جامع	٩/٥	٨/١٤	٨/٣	٠١٧/٠
اپسیلون محدودیت	١/٧٤	٩٦	٢٥	



www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۳): نمودارهای جعبه‌ای توابع هدف و مدت‌زمان اجرای مدل

بهترین روش‌حل پیشنهادی

در ادامه و به منظور انتخاب بهترین روش در بین دو روش‌حل پیشنهادی، از تکنیک *AHP* استفاده شده‌است. *AHP* یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چندشاخصه است که توسط ال‌ساعتی[1] در دهه ۱۹۷۰ ابداع شد[۲۵]. این روش هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چندگزینه و شاخص تصمیم‌گیری روبرواست، می‌تواند مفید باشد. شاخص‌ها نیز می‌توانند کیفی باشند. اساس این روش بر مقایسات زوجی است. فرآیند رتبه‌بندی و اولویت‌بندی گزینه‌ها در روش *AHP* دربرگیرنده مراحل زیر می‌باشد:

فرض کنید n گزینه و m سنجه برای ارزیابی آنها داشته باشیم. گامهای این روش به شرح زیر است:

گام۱. تعیین سنجه‌ها

گام۲. مقایسه جفتی هر دو رقیب ($\frac{n(n-1)}{2}$ مقایسه) برای هر سنجه و تشکیل ماتریس $n \times n$ رقبا که درایه‌های آن اعدادی در فاصله‌ای مشخص‌اند و برتری نسبی یکی را بر دیگری بیان می‌کنند.

1 L .Saaty

www.SID.ir

Archive of SID

گام۳. بدست‌آوردن وزن هر رقیب برای این سنجه (یعنی یک بردار($n\times1$ که این کار با انجام یک سری عملیات سطری- ستونی بر روی ماتریس گام قبل و استفاده از روش ویژه-بردار *(eigenvector)* انجام می‌شود و برداری بدست می‌آید که جمع عناصر آن یک و مقدار عنصر iام آن وزن رقیب iام را برای این سنجه نشان می‌دهد.

گام٤. گامهای ۱ تا ۳ برای تمام سنجه‌ها انجام می‌گیرد تا در نهایت m بردار n تایی بدست آید و با در کنارهم قراردادن آنها یک ماتریس $m\times n$ تشکیل شود.

گام۵. مقایسه جفت‌جفت خود سنجه‌ها و بدست آوردن وزن هر یک از آنها از روی ماتریس سنجه‌ها که برتری سنجه‌ها را نسبت به هم نشان می‌دهد.) یک بردار ($m\times1$

۱-۵- ضرب بردار وزن سنجه‌ها در ماتریس $m\times n$ و درنهایت بدست آوردن وزن نهایی هر رقیب.

۲-۵- آزمون سازگاری برای نبود تناقض در تخصیص اعداد برتری طرحها در مقایسه با سنجه‌ها.

در این قسمت برای استفاده از روش AHP ابتدا باید درخت سلسله‌مراتبی تشکیل شود که این درخت متشکل از سه قسمت مجزا می‌باشد: گزینه‌ها، شاخص‌ها و هدف اصلی. در قسمت گزینه‌ها دو روش‌حل معیارجامع و اپسیلون‌محدودیت قرار می‌گیرند. شاخص‌های موردنظر این درخت و همچنین این مقاله شامل مقادیر تابع هدف اول، مقادیر تابع هدف دوم و مدت-زمان حل مدل توسط نرم‌افزار گمز می‌باشد و نهایتا هدف اصلی هم، انتخاب بهترین روش حل است. در مرحله بعد ماتریس مقایسات زوجی تشکیل شده و به مقایسه اهمیت، ارجحیت یا درستنمایی دو عنصر نسبت به عنصر سطح بالاتر پرداخته می‌شود. شاخص‌ها با توجه درجه اهمیت آنها با هم مقایسه شده‌اند که برای تعیین میزان اهمیت‌های مختلف نیز از جدول (۹) استفاده شده‌است. در این مقاله، تابع هدف اول دارای بالاترین اهمیت، با توجه به اهمیت بیشتر انبار مرکزی نسبت به سایر انبارها، و تابع هدف دوم و مدت زمان حل مدل نیز به ترتیب دارای اولویت‌های بعدی از لحاظ اهمیت هستند. در قسمت بعد برای اطمینان از درستی اهمیت‌های

www.SID.ir

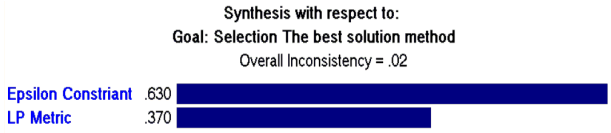
Archive of SID

درنظر گرفته‌شده برای شاخص‌ها به نرخ ناسازگاری باید توجه شود که اگر این نرخ از ۰,۱ کمتر باشد بیانگر معتبر بودن این اهمیت‌ها است. در این مقاله بعد از تعیین اهمیت‌ها به شاخص‌ها، نرخ ناسازگاری برابر ۰,۰۲ شد که بیانگر درست بودن تخصیص اهمیت‌ها به شاخص‌ها بود. سپس در مرحله بعد شاخص‌ها با گزینه‌ها مقایسه می‌شوند و به آنها نیز یک عدد به عنوان اهمیت اطلاق می‌شود. برای بررسی اعتبار مقادیر داده داده‌شده برای این قسمت نیز مجددا نرخ ناسازگاری بررسی شد که مقدار آن صفر بود، پس تخصیص مقادیر اهمیت درست بودند. در مرحله آخر هم با توجه به مقایسات زوجی انجام شده، بهترین گزینه انتخاب می شود.

جدول (۹): میزان اهمیت برای مقایسات زوجی

اهمیت مطلق	اهمیت خیلی زیاد	اهمیت زیاد	اهمیت ضعیف	اهمیت یکسان
۹	۷	۵	۳	۱
مقادیر ۲، ٤، ٦ و ۸ مقادیر بینابین هستند.				

با بهره‌گیری از نتایج مثال عددی به منظور اجرای روش *AHP*، روش اپسیلون‌محدویت به عنوان بهترین روش در بین دو روش‌حل پیشنهادی انتخاب گردید. شکل (۴) نتایج نهایی حاصل از روش *AHP* را نمایش می‌دهد. لازم به ذکر است که روش *AHP* در نرم افزار اکسپرت چویس[1] نسخه ۱۱ اجرا شده‌است.



شکل (٤): نتیجه روش AHP برای انتخاب بهترین روش‌حل پیشنهادی

1 Expert Choice

www.SID.ir

Archive of SID

تعیین تعداد بهینه گروه‌های موجودی

با توجه به اینکه بر اساس تکنیک *AHP*، روش اپسیلون‌محدویت به عنوان روش برتر انتخاب شد، لذا بوسیله این روش به تعیین تعداد گروه‌های بهینه می‌پردازیم. نتایج حاصل از این قسمت در جدول (۱۰) و شکل (۵) نمایش داده شده است.

برای تعیین تعداد گروه‌های بهینه برای انبارمرکزی، اثر تغییر در توابع هدف با ایجاد تغییر در گروه‌های موجودی بررسی شده است بدین صورت که تمام پارامترها و مقادیر مدل ثابت در نظر گرفته شده‌اند (مقادیر در جدول (۲) قبلا نمایش داده شده‌است) و مقادیر i=۵۰، s=۱۰، w=۸ و t=۵ هستند و فقط تعداد گروه‌های موجوی (j) از ۳ تا ۲۲ گروه و در ۲۰ نرخ تغییر می‌کند. بر اساس این تغییر، نتایج زیر حاصل شده‌است.

با توجه به جدول (۱۰) و شکل (۵)، افزایش در تعداد گروه‌ها منجر به افزایش میزان تابع هدف دوم می‌شود. بدین معنی که هرچه تعداد گروه‌ها بیشتر باشد، سود خالص بخش‌های مختلف نیز افزایش می‌یابد و مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار تابع هدف دوم مربوط به j=۲۲ است و این یعنی اینکه اگر تعداد گروه‌های موجود در انبار که بر اساس آنالیز *ABC* گروه‌بندی شده اند ۲۲ گروه باشد، بیشترین سود خالص را برای بخش‌ها به همراه دارد.

همچنین با توجه به جدول (۱۰) و شکل (۵)، با افزایش تعداد گروه‌ها میزان تابع هدف اول به صورت خیلی ناچیزی افزایش می‌یابد و این بدین معنی است که افزایش تعداد گروه‌ها باعث افزایش جزئی در مقدار تابع هدف اول می‌شود. بیشترین مقدار تابع هدف اول نیز زمانی است که تعداد گروه‌ها ۱۸ باشد.

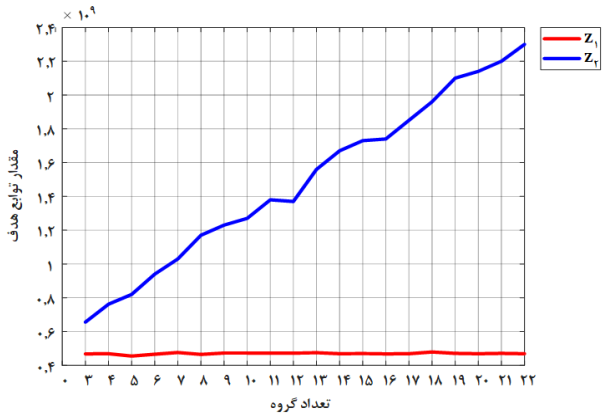
جدول (۱۰): اثر تعداد گروه‌های موجودی بر روی مقادیر تابع هدف

تعداد گروه	Z_1	Z_2
۳	٦٧٦٥٨٢/٤E٨+	٥٦٠١٤١/٦E٨+
٤	٦٨٩٦١١/٤E٨+	٦١٨٩٠٩/٧E٨+
٥	٥٤٨٦٥٩/٤E٨+	٢٠١٥٤٩/٨E٨+
٦	٦٥٧١٢٠/٤E٨+	٤٠٠٧٦٠/٩E٨+
٧	٧٦٢١٧٥/٤E٨+	٠٢٩٢٦٢/١E٩+

www.SID.ir

Archive of SID

۸	٦٥٤٤٨٤/٤E٨+	۱۷۱۱۳۸/۱E۹+
۹	۷۳٤٥٥٤/٤E٨+	۲۳۰٥٥٦/۱E۹+
۱۰	۷۲۷٤٤۹/٤E٨+	۲۷۲۹۹۱/۱E۹+
۱۱	۷۱٥۳۲٤/٤E٨+	۳۷۹٦۹٤/۱E۹+
۱۲	۷۱٥۸۳٦/٤E٨+	۳٦۹۰۳۱/۱E۹+
۱۳	۷٤۹٤٤۱/٤E٨+	٥٥٦۸٦۳/۱E۹+
۱٤	٦۹۰۱۲۰/٤E٨+	٦٦٥۲۰۳/۱E۹+
۱٥	۷۰۲٤٥۰/٤E٨+	۷۳۳۱٦۷/۱E۹+
۱٦	٦٥٤۸۸۰/٤E٨+	۷۳٦۸۹۳/۱E۹+
۱۷	٦۸۷۷۱٦/٤E٨+	۸٥۲۱۱٤/۱E۹+
۱۸	۷۸۹۰۰٤/٤E٨+	۹٦۱٦۸۷/۱E۹+
۱۹	۷۱٤۲۲٥/٤E٨+	۱۰۳۷۲٥/۲E۹+
۲۰	٦۹۲۳٦۳/٤E٨+	۱۳۸۰۹٤/۲E۹+
۲۱	۷۰۸۷۱۷/٤E٨+	۲۰۳٦۲٦/۲E۹+
۲۲	٦۹۳٦۷۹/٤E٨+	۲۹۷۹۸۲/۲E۹+



شکل (۵): اثر تعداد گروه‌های موجودی بر روی مقادیر توابع هدف

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

امروزه بحث مربوط به مدیریت موجودی‌ها و ایجاد سیستم‌های کنترل موجودی مناسب برای تمامی سازمان‌ها به چالشی بزرگ تبدیل شده‌است و همین امر ضرورت تحقیق در این زمینه را آشکار می‌کند. در این مقاله، ما یک مدل بهینه‌سازی را برای تعیین همزمان گروه‌های موجودی، سطح‌خدمات مربوط به آنها و اختصاص اقلام به گروه‌ها ایجاد کردیم. این روش با ارائه راه‌حل‌های یکپارچه، خودکار و بهینه‌سازی، رویکرد گروه‌بندی موجودی بر اساس آنالیز ABC را بهبود می‌بخشد. مدل این مقاله با سایر مدل‌های بهینه‌سازی موجود با دو ویژگی متمایز، متفاوت است. الف) به جای به حداقل‌رساندن هزینه‌های موجودی، مدل ما سودآوری یک شرکت را به حداکثر می‌رساند. ب) این مدل، مبادله بین هزینه موجودی و درآمد را بهینه می‌کند و بودجه موجودی را به صورت بهینه به اقلام موجودی اختصاص می‌دهد. این مدل همچنین ممکن است به عنوان یک ابزار منطقی برای کمک به مدیران موجودی باشد که تصمیم بگیرند که کدامیک از اقلام بهتر است در انبار موجود باشند یا برعکس. در تحقیق حاضر به منظور بهبود یک طبقه‌بندی مناسب، یک مدل ریاضی توسعه داده شد. یک زنجیره-تامین سه‌سطحی شامل تامین‌کنندگان، انبارمرکزی و بخش‌های مختلف برای مدل ریاضی طراحی شد. این زنجیره‌تامین دارای دو تابع هدف به منظور بیشینه کردن سود خالص اقلام موجود در انبارمرکزی و همچنین در بخش‌های مختلف بود. محدودیت‌هایی مثل بودجه و ظرفیت برای هر سطح از زنجیره‌تامین در نظر گرفته‌شد و همچنین کمبود موجودی نیز مدنظر قرارگرفت. به منظور حل مدل، از روشهای معیار جامع و اپسیلون‌محدویت اصلاح‌شده استفاده شد. جهت ارزیابی روشهای حل ارائه شده، سه شاخص شامل مقدار تابع هدف اول و دوم و مدت‌زمان اجرای مدل تعیین و مدل ریاضی در ۱۵ مثال عددی مختلف اجرا شد. برای مقایسه آماری نتایج دو روش حل پیشنهادی، از آزمون t استفاده شد. در ادامه به منظور انتخاب روش برتر از تکنیک AHP استفاده شد که بر این اساس روش اپسیلون‌محدویت به عنوان روش برتر انتخاب شد. در نهایت به منظور تعیین تعداد بهینه گروه‌های موجودی، از روش اپسیلون-

www.SID.ir

Archive of SID

محدویت استفاده شد که تعداد بهینه گروه‌ها برای انبارمرکزی ۱۸ و برای بخش‌های مختلف ۲۲ بود.

از طریق یک آزمایش جامع محاسباتی، چندین بینش مدیریتی در مورد گروه‌بندی بهینه موجودی و استراتژی کنترل اقلام به دست آمد. الف) هنگامی که هزینه مدیریت در هر گروه کاهش می‌یابد (هزینه مدیریت بالاسری)، بهتر است سطح‌خدمات اقلام موجودی، با طبقه-بندی آنها به گروه‌های کوچکتر، تمایز داده شود. ب) مدل پیشنهادی نشان‌دهنده‌ی کاهش هزینه‌های موجودی است و می‌تواند به یک شرکت از طریق افزایش بودجه موجودی آن کمک کند. ج) وقتی بودجه محدود باشد، احتمال بیشتری برای افزایش تعداد گروه‌های طبقه‌بندی موجودی وجود دارد درحالی‌که وقتی بودجه زیادی در دسترس است، ممکن است طبقه‌بندی اقلام به تعداد گروه‌های کمتر قابل قبول باشد که این همان رویکرد سنتی ABC است. این مدل همچنین به مدیران موجودی و عملیاتی کمک می‌کند تا چندمورد را به صورت همزمان بهینه کنند که عبارتنداز: الف) تعداد گروه‌های طبقه‌بندی برای اقلام مختلف، ب) تخصیص بهینه هرقلم موجودی به هرگروه، ج) سطح‌خدمات هدف برای هرگروه و د) تخصیص بهینه بودجه محدود موجود به هرگروه. این تصمیمات برای به حداکثررساندن کل سود خالص، با توجه به محدودیت‌های بودجه موجودی گرفته می شود. و نهایتا، با استفاده از تجزیه و تحلیل‌حساسیت بر روی برخی پارامترهای مدل پیشنهادی، مدیران موجودی این امکان را خواهندداشت تا تأثیر هزینه‌های موجودی و هزینه‌های مدیریت گروه موجودی را در تصمیم‌گیری بهینه و گروه‌بندی اقلام تعیین کنند. مواردی که می‌تواند به عنوان پیشنهادات آینده برای این مقاله در نظر گرفته‌شوند، عبارتنداز:

- در نظرگرفتن برخی از پارامترهای مدل مثل تقاضا و هزینه‌ها به عنوان پارامترهای غیر-قطعی.
- پیاده‌سازی مدل ریاضی پیشنهادی در یک مطالعه‌موردی واقعی و بررسی انعطاف-پذیری آن.
- استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری و روش‌های ابتکاری برای حل مدل.

www.SID.ir

Archive of SID

- اضافه‌کردن سطوح دیگر به زنجیره‌تامین این مقاله مانند مرکز توزیع، مرکز جمع-آوری، مرکز بازیافت و ...
- در نظرگرفتن محصولات در بسته‌های مختلف در برخی موارد باعث افزایش هزینه نگهداری می شود، در حالی‌که هزینه سفارش‌دهی کاهش می‌یابد، که مدیران موجودی با تجزیه و تحلیل‌حساسیت دقیق‌تر و تجزیه و تحلیل سناریویی و بر اساس نیازهای مختلف این می‌توانند این مشکل را برطرف نمایند.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

[۱] اسماعیل‌زاده، م.، الفت، ل. . (۱۳۹۵)، ارائه سه مدل جدید برای سطح اهمیت اقلام طبقه *ABC* با هدف کاهش هزینه‌های موجودی، فصلنامه علمی–ترویجی مدیریت زنجیره تامین، سال نوزدهم شماره ۵۵ بهار ۱۳۹۶، صفحات ۸۰ – ۱۰۰.

[۲] اسماعیل‌زاده، م. ، حسین‌پور، ا.، نامدار، م.ر. . (۱۳۹۲)، طبقه‌بندی موجودی با استفاده از بهینه-سازی جمعی راه‌حل‌های چندهدفه، مطالعات مدیریت صنعتی، سال یازدهم شماره ۳۰ پاییز۱۳۹۲، صفحات ۲۳ – ۵۶.

[۳] زرین‌صدف، م.، دانشور، ا . (۱۳۹۵)، روش کارای یادگیری ترجیحات مبتنی بر مدل *ELECTRE TRI* به منظور طبقه بندی چندمعیاره موجودی، مدیریت صنعتی (دانش مدیریت)، دوره ۸ شماره ۲ تابستان ۱۳۹۵، صفحات ۱۹۱ – ۲۱۶ .

[۴] صفایی‌قادیکلائی، ع.، اسماعیل‌زاده، م. . (۱۳۹۰)، ارائه رهیافتی جدید برای مقایسه نتایج به کارگیری مدل‌های طبقه‌بندی *ABC* چندمعیاره موجودی (مطالعه موردی: شرکت سایپا)، دوماهنامه علمی–پژوهشی دانشگاه شاهد، سال هجدهم–دوره جدید شماره ۲-۴۷ تیر ۱۳۹۰، صفحات ۲۰۷-۲۲۴.

[۵] ناظمی، ش.، شمس الدینی، ر. . (۱۳۹۰)، ارائه مدلی برای طبقه‌بندی اقلام مواد و موجودی‌ها با استفاده از روش *ABC-FUZZY*، چشم‌انداز مدیریت صنعتی، شماره ۳ پاییز ۱۳۹۰، صفحات ۸۳-۹۸.

[٦]Arrow, K. J., T. Harris and J. Marschak" .(١٩٥١) Optimal inventory policy ".Econometrica: Journal of the Econometric Society: 250-272.

[٧]Bérubé, J.-F., M. Gendreau and J.-Y. Potvin (2009" .(An exact ϵ-constraint method for bi-objective combinatorial optimization problems : Application to the Traveling Salesman Problem with Profits ".European journal of operational research 194(1): 39-50.

[٨]Chakravarty, A. (1981" .(Multi-item inventory aggregation into groups ".Journal of the Operational Research Society 32:(1) 19-26.

www.SID.ir

Archive of SID

[۹] Chen, Y., K. W. Li, D. M. Kilgour and K .W. Hipel (2008" .(A case-based distance model for multiple criteria ABC analysis ". Computers & Operations Research 35(3): 776-796.

[۱۰]Cohen, M. A. and R. Ernst (1988" .(Multi-Item Classification and Generic Inventory Stock Contr ".Production and Inventory Management Journal 29(3): 6.

[۱۱] Chu, C.-W ,.G.-S. Liang and C.-T. Liao (2008" .(Controlling inventory by combining ABC analysis and fuzzy classification ". Computers & Industrial Engineering.۸۵۱-۸٤۱ :(٤)٥٥

[۱۲]Ehrgott, M. and X. Gandibleux (2003). Multiobjective combinatorial optimization—theory, methodology, and applications. Multiple criteria optimization: State of the art annotated bibliographic surveys ,Springer: 369-444.

[۱۳] Erlenkotter, D" .(۱۹۸۹) .Note—An Early Classic Misplaced: Ford W. Harris's Economic Order Quantity Model of 1915 ". Management Science 35(7): 898-900.

[۱٤] Flores, B. E .and D. C. Whybark (1987" .(Implementing multiple criteria ABC analysis ".Journal of Operations Management 7(1-2): 79-85.

[۱٥]Guvenir, H .A .and E. Erel (1998" .(Multicriteria inventory classification using a genetic algorithm ".European journal of operational research 105(1): 29-37.

[۱٦] Hadi-Vencheh, A. (2010" .(An improvement to multiple criteria ABC inventory classification ".European Journal of Operational Research 201(3): 962-965.

[۱۷]Kaabi, H., K. Jabeur and L. Enneifar (2015" .(Learning criteria weights with TOPSIS method and continuous VNS for multi-criteria inventory classification ".Electronic Notes in Discrete Mathematics 47 : .۲۰٤-۱۹۷

[۱۸]López-Soto, D., Angel-Bello, F., Yacout, S., Alvarez, A .(۲۰۱۷) . "A multi-start algorithm to design a multi-class classifier for a multi-criteria ABC inventory classification problem ".Expert Systems with Applications 81(Supplement C): 12-21.

www.SID.ir

Archive of SID

[۱۹] Massart, P" .(۱۹۹۰) .The tight constant in the Dvoretzky-Kiefer-Wolfowitz inequality ".The annals of Probability: 1269-1283.

[۲۰]Millstein, M. A., L. Yang and H. Li (2014" .(Optimizing ABC inventory grouping decisions ".International Journal of Production Economics 148: 71-80.

[۲۱] Ng, W. L" .(۲۰۰۷) .A simple classifier for multiple criteria ABC analysis ".European Journal of Operational Research 177(1): 344-353.

[۲۲]Partovi, F. Y. and J. Burton (1993" .(Using the analytic hierarchy process for ABC analysis ".International Journal of Operations & Production Management 13(9): 29-44.

[۲۳] Partovi, F. Y. and M. Anandarajan (2002" .(Classifying inventory using an artificial neural network approach ".Computers & Industrial Engineering 41(4): 389-404.

[۲٤]Ramanathan, R. (2006" .(ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization ".Computers & Operations Research 33(3): 695-700.

[۲٥]Saaty, T. L. (1991" .(Response to Holder's comments on the analytic hierarchy process ".Journal of the Operational Research Society 42(10): 909-914.

[۲٦]Teunter, R. H., Babai, M. Z & ,.Syntetos, A. A. (2010). ABC classification :service levels and inventory costs. Production and Operations Management. ۳٥۲-۳٤۳,(۳)۱۹ ,

[۲۷]Tsai, C.-Y. and S.-W. Yeh (2008" .(A multiple objective particle swarm optimization approach for inventory classification ".International journal of production Economics 114(2): 656-666.

[۲۸]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.

[۲۹]Yu, M.-C. (2011" .(Multi-criteria ABC analysis using artificial-intelligence-based classification techniques ".Expert Systems with Applications 38(4): 3416-3421.

www.SID.ir

Archive of SID

[۳۰] *Zhou, P. and L. Fan (2007" .(A note on multi-criteria ABC inventory classification using weighted linear optimization ".European journal of operational research 18:(3) 1488-1491.*

www.SID.ir