

ارائه رهیافتی جدید برای مقایسه نتایج بکارگیری مدل‌های طبقه بندی ABC چند معیاره موجودی (مطالعه موردی: شرکت سایپا)

نویسندگان: عبدالحمید صفائی قادیکلانی*^۱ و منصور اسماعیل زاده^۲

۱. استاد یار دانشگاه مازندران

۲. عضو هیات علمی دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان

*Email: ab.safaei@umz.ac.ir

چکیده

در حوزه طبقه بندی ABC چند معیاره موجودی مدل‌های متعددی توسط پژوهشگران در سطح جهان ارائه شده است. نتایج متفاوت طبقه بندی اقلام در این مدل‌ها یک چالش جدی پیش روی اندیشمندان این حوزه از دانش می باشد. در این مقاله از تکنیک های ادغامی جهت مقایسه نتایج بدست آمده از مدل‌های مختلف طبقه بندی ABC چند معیاره موجودی استفاده شده است، مدل ارائه شده جهت تعیین مناسبترین مدل، بسیار ساده و قابل بکارگیری جهت مقایسه هر تعداد مدل مورد استفاده می باشد. در این مقاله از مدل‌های وان لانگ، فان و ژوو، طبقه بندی آر- مدل و طبقه بندی سنتی بعلاوه یک مدل پیشنهادی که بهبود دهنده مدل‌های فوق الذکر می باشد برای طبقه بندی ۱۰۰ قلم موجودی از انبارهای تولیدی داخلی شرکت سایپا استفاده شده است. بعد از طبقه بندی اقلام با استفاده از روش ادغامی میانگین رتبه ها نتایج طبقه بندی مدل‌ها با هم مقایسه شده اند. نتایج نشان می دهد که مدل فان ژوو و مدل پیشنهادی به ترتیب با ۷۶٪ و ۷۵٪ مطابقت در رتبه های اول و دوم قرار گرفته اند و مدل سنتی با ۱۹٪ مطابقت از این نظر در اولویت آخر قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: طبقه بندی چند معیاره موجودی (MCIC)، بهینه سازی خطی موزون (R- MODEL)، مدل فان- ژوو و مدل وان لانگ

دانشور

رشتار

مدیریت و پیشرفت

Management and achievement

• دریافت مقاله: ۸۷/۱/۲۵
• پذیرش مقاله: ۸۹/۴/۱۲

Scientific-Research
Journal of
Shahed University
Eighteenth Year
No. 47-2
Jun.Jul.2011

دوماهنامه علمی- پژوهشی
دانشگاه شاهد
سال هجدهم- دوره جدید
شماره ۲-۴۷
تیر ۱۳۹۰

۱- مقدمه

در طبقه بندی کلاسیک (سنّتی) اقلام بر اساس دو معیار (قیمت واحد و مصرف سالیانه) طبقه بندی می شدند (1) اما در روش ABC علاوه بر معیار ارزش مصرف سالیانه (قیمت ضربدر مصرف) معیارهای دیگری نیز وجود دارند که در مدیریت موجودی مهم هستند از جمله آنها می توان به زمان انتظار، از رده خارج شدن، در دسترس بودن، قابلیت جایگزینی، درجه بحرانی، قابلیت تعمیر، عمومیت داشتن، درجه اطمینان برای تامین، هزینه موجودی، میزان تقاضای سالیانه، کمیابی، قابلیت دوام، میزان سفارش، قابلیت ذخیره سازی و توزیع تقاضا اشاره کرد (2,3,4)

در سالهای اخیر از مدل‌های زیادی جهت طبقه بندی چند معیاره موجودی استفاده شده است از جمله آنها می توان به مدل ماتریسی فلورس و وای بارک (5) که ماتریس معیار مشترک¹ نامیده شده است و برای طبقه بندیهای دو معیاره مناسب است، تکنیک آماری کوهن و ارنست (6) به نام تحلیل خوشه ای² که نیاز به داده های واقعی، استفاده از تجزیه و تحلیل عاملی و یک رویه جمع آوری دارد، فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی³ که توسط توماس ال ساعتی⁴ ارائه شده است، الگوریتم ژنتیک جوونیر و ارل (7) که در آن از الگوریتم ژنتیک برای بدست آوردن وزنه‌های معیارها با توجه به نقاط جدا شده ی AB و BC استفاده می شود، مدل فازی پونته (8)، شبکه های عصبی مصنوعی⁵ پرتوی و آناندراجان (9)، مدل بهینه سازی خطی موزون رامانادان (10)، مدل بهینه سازی خطی موزون وان لانگ (4) و مدل فازی رضائی (11) اشاره کرد.

در تمامی مدل‌هایی که در بالا به آنها اشاره شد هر کدام بطور جداگانه یک مدل برای طبقه بندی چند معیاره موجودی ارائه کرده اند، که هر کدام از مدل‌های فوق الذکر مزیتها و معایبی دارند و جهت تعیین اینکه کدام یک از این مدل‌ها مناسبتر است تاکنون روشی که به صورت کمی

باشد ارائه نشده است، ولی جوونیر و ارل (7) که از الگوریتم ژنتیک برای طبقه بندی ABC چند معیاره موجودی استفاده کرده اند از AHP نیز استفاده کرده و برای تعیین مدل مناسب بین الگوریتم ژنتیک و تکنیک AHP، نظر مدیران با تجربه موجودی (روشی کاملاً کیفی) را به عنوان معیار قرار داده اند. بدین ترتیب که پس از طبقه بندی اقلام با مدل‌های انتخابی و توسط مدیران موجودی، طبقه بندی هر کدام از مدل‌ها را با طبقه بندی مدیران موجودی مقایسه کرده و هر مدل که با نظر مدیران موجودی مطابقت بیشتری داشته باشد به عنوان مدل مناسبتر انتخاب شده است.

در این مقاله یک مدل ساده و قابل کاربرد برای مقایسه مدل‌های مختلف طبقه بندی ABC چند معیاره موجودی ارائه شده است که در آن ابتدا به هر کدام از طبقات A، B و C رتبه های 1 و 3 و 5 داده شده سپس میانگین رتبه ی مدل‌های مختلف در هر قلم را بدست آورده و با مرتب کردن میانگین رتبه های هر قلم، آنها را طبقه بندی می کنیم. نهایتاً با مطابقت دادن طبقه بندی مدل‌های مورد استفاده با طبقه بندی مدل میانگین رتبه ها، مناسبترین مدل انتخاب شده است. در مقاله حاضر ابتدا مدل‌های مختلف ABC مورد استفاده در طبقه بندی اقلام انبار تشریح می گردد. در ادامه با ترکیب مدل فان و ژوو با مدل وان لانگ مدل پیشنهادی پژوهش حاضر معرفی شده است. با توجه به امکان نتایج متفاوت این مدل‌ها در طبقه بندی اقلام بخش بعدی مقاله معرفی روش میانگین رتبه ها برای ارزیابی مقایسه ای این نتایج متفاوت طبقه بندی اقلام خواهد بود. مطالعه موردی (شرکت سایپا) و بحث در یافته ها و نتیجه گیری و پیشنهادات بخشهای پایانی مقاله حاضر را به خود اختصاص داده است.

۲- مدل‌های مورد استفاده ABC در طبقه

بندی اقلام

۲-۱- طبقه بندی سنّتی ABC

در طبقه بندی کلاسیک (سنّتی) اقلام بر اساس دو معیار (قیمت واحد و مصرف سالیانه) طبقه بندی می شوند

¹ joint criteria matrix

² Cluster Analysis

³ Analytical Hierarchy Process (AHP)

⁴ Saaty

⁵ Artificial Neural Networks (ANNs)

با یکدیگر مقایسه و طبقه مربوط به آنها را تعیین نمود. مدل (1) به جای وزن دهی ذهنی یک مدل عینی برای طبقه بندی ABC چند معیاره موجودی فراهم می کند. زمانی که مدل حل می شود، یک نمره بهینه موجودی را برای قلم i بدست می دهد. برای بدست آوردن نمره های بهینه ی دیگر ارقام موجودی، مدل به طور تکراری با تغییر دادن تابع هدف باید حل شود. سپس این نمره ها می توانند برای طبقه بندی ارقام موجودی مورد استفاده قرار گیرند. مدل فوق مشابه نوعی از مدل های برنامه ریزی خطی مورد استفاده در تحلیل پوششی داده ها می باشد (15) آر-مدل همانند ایده تحلیل پوششی داده ها (1,16) هر قلم را قادر می سازد که وزن را خودش برای تخمین نمره عملکردش انتخاب کند. وزنه های انتخاب شده توسط هر قلم تمایل به مطلوب کردن خودشان دارند. در نتیجه اگر یک قلم در معیاری معین ارزش زیاد داشته باشد توسط آر-مدل بدون توجه به ارزشهایش در معیار های دیگر، در طبقه A قرار خواهد گرفت. این امر ممکن است منجر به این شود که یک قلم با ارزش بالا در یک معیار بی اهمیت به طور نامناسب در طبقه A قرار گیرد و این موقعیت واقعی این قلم موجودی را بیان نمی کند. بعلاوه این نکته نیز قابل ذکر است که این مدل همچنین مرتبط با مدل مجموع وزین ساده¹ در تحلیل تصمیم چند معیاره است (14.17) زیرا تابع یکپارچه سازی هماتندی دارند با این تفاوت که در مدل (1) وزنه های ارقام مختلف وابسته و قابل تغییر هستند در حالیکه در مدل مجموع وزین ساده آنها مستقل و ثابت هستند. (1)

۲-۳- مدل فان و ژوو

در آر-مدل اگر یک قلم در میان دیگر ارقام بازده بالایی در یک معیار معین داشته باشد، این قلم همیشه یک نمره بالایی را بدست خواهد آورد حتی اگر آن بازده های خیلی پائینی در معیار های دیگر داشته باشد. این ممکن است منجر به موقعیتی شود که یک قلم با بازده بالا در یک معیار غیر مهم و بازده پائین در دیگر معیار های مهم

بدین ترتیب که برای هر قلم کالا قیمت واحد را در مصرف سالیانه اش ضرب کرده و یک معیار به نام ارزش مصرف سالیانه بدست می آید، سپس آنها را به صورت نزولی مرتب کرده و با توجه به سیاستهای مدیریت (در صد تشکیل دهنده ی هر طبقه) ارقام طبقه بندی می شوند.

۲-۲- مدل بهینه یابی خطی موزون (آر-مدل)

فرض کنید که M قلم موجودی داریم می خواهیم این ارقام را بر اساس N معیار طبقه بندی کنیم. بازده قلم i را بر حسب هر معیار با y_{in} نشان می دهیم. همچنین فرض کنید که تمام معیارها با سطح اهمیت ارقام رابطه مثبت دارند (7,9,12,13) یعنی قلمی که نمره بیشتری در این معیارها داشته باشد شانس بیشتری برای قرار گرفتن در طبقه A را دارد. با این مفروضات مدل بهینه یابی خطی موزون در زیر آمده است:

$$\begin{aligned} & \text{Max} \quad \sum_{n=1}^N w_{in} y_{in} \\ & \text{s.t.} \\ & \sum_{n=1}^N w_{in} y_{mn} \leq 1 \quad (1) \\ & m = 1, 2, \dots, M \\ & w_{in} \geq 0 \end{aligned}$$

(منبع: (1))

در مدل (1) یک تابع جمعی موزون برای یکپارچه کردن عملکرد یک قلم موجودی بر حسب معیارهای مختلف جهت بدست آوردن یک نمره واحد (تابع هدف) مورد استفاده قرار گرفته است. وزنه با استفاده از مساله بهینه سازی برای محدودیتهایی که مجموع موزون محاسبه شده با استفاده از مجموعه ی مشابه وزنه برای تمام ارقام باید کوچکتر یا مساوی یک باشد، انتخاب شده اند. در مدل (1) محدودیتها بصورت کوچکتر مساوی در نظر گرفته شده اند در غیر اینصورت (اگر محدودیتها بصورت بزرگتر مساوی در نظر گرفته شوند) همه ارقام نمره $+\infty$ را بدست خواهند آورد (چون تابع هدف ماکزیمم می باشد) که در اینصورت نمی توان همه ارقام با یک نمره مشابه را

¹Simple Additive Weighted (SAW)

مدل (2) همان آر-مدل (مدل 1) می باشد ولی مدل (3) شامل یک تابع هدف مینیمم سازی برای یکپارچه کردن عملکرد یک قلم موجودی بر حسب معیارهای مختلف جهت بدست آوردن شاخص منفی مورد استفاده قرار گرفته است. وزن‌ها با استفاده از مساله بهینه سازی برای محدودیت‌هایی که مجموع موزون محاسبه شده با استفاده از مجموعه ی مشابه وزن‌ها برای تمام اقلام باید کوچکتر یا مساوی یک باشد، انتخاب شده اند. در مدل (3) محدودیتها بصورت بزرگتر مساوی در نظر گرفته شده اند در غیر اینصورت (اگر محدودیتها بصورت کوچکتر مساوی در نظر گرفته شوند) همه اقلام نمره صفر را بدست خواهند آورد (چون تابع هدف مینیمم می باشد) که در اینصورت نمی توان همه اقلام با یک نمره مشابه را با یکدیگر مقایسه و طبقه مربوط به آنها را تعیین نمود. gI_i و bI_i به ترتیب شاخص مثبت و شاخص منفی برای طبقه بندی چند معیاره موجودی می نامیم. شاخص منفی bI_i یک مدل طبقه بندی اضافی را برای اقلامی که با شاخص مثبت gI_i غیر قابل مقایسه اند، فراهم می کند. بعلاوه ما می توانیم با ترکیب دو شاخص، یک شاخص مختلط به صورت زیر بسازیم:

$$nI_i(\lambda) = \lambda \times \frac{gI_i - gI_i^-}{gI_i^* - gI_i^-} \oplus (1 - \lambda) \times \frac{bI_i - bI_i^-}{bI_i^* - bI_i^-} \quad (4)$$

$$gI_i^* = \text{Max}\{gI_i, i = 1, 2, \dots, M\}, gI_i^- = \text{Min}\{gI_i, i = 1, 2, \dots, M\},$$

$$bI_i^* = \text{Max}\{bI_i, i = 1, 2, \dots, M\}, bI_i^- = \text{Min}\{bI_i, i = 1, 2, \dots, M\},$$

$$0 \leq \lambda \leq 1$$

در مقایسه با آر-مدل، مدل فان و ژوو یک شاخص جامع تری را فراهم می کند، زیرا دو جنبه را در نظر می گیرد. همانند gI_i ، nI_i که شاخص مختلط نامیده می شود و نمره نهائی قلم i را نشان می دهد، یک شاخص استاندارد شده است که در بازه صفر تا یک قرار می گیرد. اگر یک قلم بزرگترین ارزش را در هر دو شاخص خوب و بد دارد، آن قلم نمره نهائی 1 را خواهد گرفت و

به طور نامناسب در طبقه A قرار بگیرد که این، موقعیت واقعی این قلم موجودی را تعیین نمی کند. برای رفع این نقطه ضعف، آر-مدل را توسعه داده و یک مدل بهینه یابی خطی موزون مشابه آر-مدل (مدل 3) ارائه می دهیم: فرض کنید که M قلم موجودی داریم و می خواهیم این اقلام را بر اساس N معیار طبقه بندی کنیم. بازده قلم i را بر حسب هر معیار با y_{in} نشان می دهیم. بنابراین داریم:

$$gI_i = \text{Max} \sum_{n=1}^N w_{in} y_{in}$$

s.t.

$$\sum_{n=1}^N w_{in} y_{mn} \leq 1 \quad (2) \quad \text{و}$$

$$m = 1, 2, \dots, M$$

$$w_{in} \geq 0$$

$$bI_i = \text{Min} \sum_{n=1}^N w_{in} y_{in}$$

s.t.

$$\sum_{n=1}^N w_{in} y_{mn} \geq 1, \quad (3)$$

$$m = 1, 2, \dots, M$$

$$w_{in} \geq 0$$

(منبع: (10))

بطوریکه:

در رابطه (4)، λ یک پارامتر کنترل برای ترجیح تصمیم گیرنده در انتخاب شاخصهای منفی و یا مثبت می باشد. اگر λ برابر 1 باشد nI_i نوع نرمال شده ی شاخص مثبت gI_i خواهد بود. اگر λ برابر صفر باشد nI_i نوع نرمال شده شاخص منفی bI_i خواهد بود. اگر مدیران موجودی ترجیح قوی نداشته باشند، $\lambda = 0.5$ یک انتخاب عادلانه و منطقی خواهد بود.

شود، نمره و ارزش وزنها خود بخود بدست می آید. بنابراین هیچ نیازی به ارزش وزنی از قبل تعیین شده نداریم. همانطور که ملاحظه می کنید هیچ تابع پارامتریکی، قبل از نمره دهی تعریف نشده است، بنابراین

مدل در مفهوم یک مدل

غیر پارامتریک می باشد.

مدل (۶) برای هر قلم موجودی یک مدل برنامه ریزی خطی حل می کند. به هر حال این عمل نیاز به یک بهینه ساز خطی قابل دسترس برای تصمیم گیرنده دارد. بنابراین تغییری در آن ایجاد می کنیم. مدل ساده شده می تواند به آسانی بدون بهینه ساز خطی حل شود:

$$(P_1) = \text{Max} S_m = \sum_{n=1}^N w_{mn} y_{mn}$$

s.t.

$$(2) = \sum_{n=1}^N w_{mn} = 1 \quad (6)$$

$$(3) = w_{mn} - w_{m(n+1)} \geq 0, n = 1, 2, \dots, (N-1)$$

$$(4) = w_{mn} \geq 0, n = 1, 2, \dots, N$$

و در نظر بگیرید:

$$u_{mN} = w_{mN}$$

$$m = 1, 2, \dots, M$$

بنابراین محدودیت ۲ و ۳ را می توان بصورت زیر در نظر گرفت:

$$\sum_{n=1}^N n u_{mn} = 1 \quad (8)$$

$$m = 1, 2, \dots, M$$

و

$$u_{mn} \geq 0$$

$$m = 1, 2, \dots, M$$

$$n = 1, 2, \dots, N$$

در طبقه A قرار می گیرد. اگر یک قلم کمترین ارزشها را در هر دو شاخص خوب و بد داشته باشد، آن قلم نمره نهائی صفر را خواهد گرفت و در طبقه C قرار می گیرد. (۱۰)

۲-۴- مدل وان لانگ

فرض کنید که M قلم موجودی داریم می خواهیم این اقلام را بر اساس N معیار طبقه بندی کنیم بازده قلم M در معیار N با y_{mn} نشان داده می شود. همچنین فرض بر این است که همه معیارها رابطه مثبت با سطح اهمیت موجودی دارند. در این مدل تمام معیارها را طوری در نظر می گیریم که قابل مقایسه باشند. برای تبدیل بازده اقلام در مقیاس صفر تا یک از رابطه (۵) استفاده می شود. همچنین نیاز داریم که تصمیم گیرنده معیارهای مورد نظر را اولویت بندی کند برای این کار (اولویت بندی معیارها) از پرسشنامه و تکنیک AHP گروهی استفاده شده است.

$$\frac{y_{mn} - \min_{m=1,2,\dots,M} \{y_{mn}\}}{\max_{m=1,2,\dots,M} \{y_{mn}\} - \min_{m=1,2,\dots,M} \{y_{mn}\}} \quad (5)$$

در مدل وان لانگ ابتدا معیارها را با تکنیک AHP گروهی اولویت بندی می کنیم. یک وزن غیر منفی w_{mn} تعریف می کنیم که وزن قلم m در معیار n می باشد. بعد از اینکه معیارها با استفاده از تکنیک AHP گروهی مقایسه و اولویت بندی شدند آنها برای تمام اقلام به صورت نزولی مرتب می شوند. یعنی: $w_{m1} \geq w_{m2} \geq \dots \geq w_{mn}$ نمره قلم M (با S_m نشان داده شده) به عنوان مجموع موزون اندازه های عملکرد قلم با چندین معیار بیان می شود. (تابع هدف) یک مدل بهینه یابی خطی موزون برای قلم M در زیر نشان داده شده است (مدل ۵) محدودیت ۲ یک محدودیت نرمال شده است. محدودیت ۳ در واقع تضمین توالی درجه بندی معیارها می باشد. یعنی: $w_{m1} \geq w_{m2} \geq \dots \geq w_{mn}$ این مدل نیز همانند مدل DEA وزنها را به طور وابسته بدست می دهد زمانی که مدل (۶) برای هر قلم حل می

با بسط سمت چپ (۸) و جایگزینی (۷) داریم:

$$\begin{aligned} \sum_{m=1}^N nu_{mn} &= u_{m1} + 2u_{m2} + 3u_{m3} + \dots + Nu_{mN} \\ &= (w_{m1} - w_{m2}) + 2(w_{m2} - w_{m3}) + 3(w_{m3} - w_{m4}) + \dots + N(w_{mN}) \\ &= \sum_{m=1}^N w_{mn} \\ &= 1 \end{aligned}$$

همچنین در نظر بگیرید که: S_m نمره برای هر قلم با u_{mn} و x_{mn} برای

$n = 1, 2, \dots, N$ بیان شده است:

$$S_m = \sum_{n=1}^N w_{mn} y_{mn} = \sum_{n=1}^N u_{mn} x_{mn} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} x_{mn} &= \sum_{k=1}^n y_{mk} \\ m &= 1, 2, \dots, M \end{aligned} \quad (9)$$

با جایگزینی (۷) و (۹) در سمت راست (۱۰) و بسط آن، داریم:

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^N u_{mn} x_{mn} &= \sum_{n=1}^{N-1} \left((w_{mn} - w_{m(n+1)}) \sum_{k=1}^m y_{mk} \right) + u_{mN} \sum_{k=1}^N y_{mk} \\ &= ((w_{m1} - w_{m2}) y_{m1}) + ((w_{m2} - w_{m3})(y_{m1} + y_{m2})) + ((w_{m3} - w_{m4})(y_{m1} + y_{m2} + y_{m3})) + \dots \\ &+ ((w_{m(N-1)} - w_{mN})(y_{m1} + y_{m2} + \dots + y_{m(N-1)})) + w_{mN}(y_{m1} + y_{m2} + \dots + y_{mN}) \\ &= (w_{m1} y_{m1} - w_{m2} y_{m1}) + (w_{m2} y_{m1} + w_{m2} y_{m2} - w_{m3} y_{m1} - w_{m3} y_{m2}) \\ &+ (w_{m3} y_{m1} + w_{m3} y_{m2} + w_{m3} y_{m3} - w_{m4} y_{m1} - w_{m4} y_{m2} - w_{m4} y_{m3}) + \dots \\ &+ (w_{m(N-1)} y_{m1} + w_{m(N-1)} y_{m2} + \dots + w_{m(N-1)} y_{m(N-1)} - w_{mN} y_{m1} - w_{mN} y_{m2} - \dots - w_{mN} y_{m(N-1)}) \\ &+ (w_{mN} y_{m1} + w_{mN} y_{m2} + \dots + w_{mN} y_{mN}) \\ &= w_{m1} y_{m1} + w_{m2} y_{m2} + \dots + w_{mN} y_{mN} \\ &= \sum_{n=1}^N w_{mn} y_{mn} \end{aligned}$$

بعلاوه برای تمام اقلام داریم:

$$w_{mn} = \sum_{k=n}^N u_{mk} \quad (11)$$

$$n = 1, 2, \dots, N$$

از آنجائی که $u_{mn} \geq 0, n = 1, 2, \dots, N$ محدودیت غیر منفی را برای تمام w_{mn} احراز می کنیم. بر اساس این تغییر می توانیم مدل (۶) را به مدل زیر برای تمام اقلام موجودی تبدیل کنیم:

$$(P_2) = \text{Max} S_m = \sum_{n=1}^N u_{mn} x_{mn}$$

s.t.

$$\sum_{n=1}^N nu_{mn} = 1 \quad (12)$$

$$u_{mn} \geq 0, n = 1, 2, \dots, N.$$

مدل (۱۲) یک نوع برنامه ریزی خطی در شکل کنونیکال با یک محدودیت مساوی است. این مدل دال بر این است که تنها یک جواب غیر صفر برای u_{mn} وجود دارد و بقیه u_{mn} ها صفر خواهند بود. (چون یک محدودیت دارد و تعداد متغیرهای اساسی برابر تعداد محدودیتها می باشد) بعلاوه تنها متغیر تصمیم غیر صفر ($u_{mn} \geq 0$) مساوی با ۱ تقسیم بر J می باشد. بنابراین نمره S_m هر قلم موجودی می تواند به سادگی با عنوان زیر تعریف شود:

$$\text{Max}_{n=1,2,\dots,N} = \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_{mk} \right) \quad (13)$$

مدل فان و ژوو نیز یک نقطه ضعف مشترک دارند که آن محاسبات طولانی است که باید برای هر قلم موجودی انجام شود ولی مدل وان لانگ این نقطه ضعف را ندارد، بنابراین ما می توانیم با ترکیب دو مدل وان لانگ و فان و ژوو این معایب را بر طرف کنیم، در اینجا ما یک مدل جهت رفع این معایب ارائه می دهیم. در این مدل پیشنهادی مشابه عملیاتی که مدل فان و ژوو روی مدل بهینه یابی خطی موزون (آر-مدل) انجام می دهد، روی مدل وان لانگ انجام می دهیم؛ فرض کنید که M قلم موجودی داریم می خواهیم این اقلام را بر اساس N معیار طبقه بندی کنیم. بازده قلم m در معیار n را با y_{mn} نشان داده می شود. در این مدل تمام معیارها را طوری در نظر می گیریم که قابل مقایسه باشند. برای تبدیل بازده اقلام در مقیاس صفر تا یک از رابطه (۵) استفاده می شود. همچنین تصمیم گیرنده باید معیارها را اولویت بندی کند.

در این مدل پیشنهادی برای بدست آوردن شاخص های منفی، مدل (۶) را باتابع هدف Min در نظر گرفته و برای بدست آوردن شاخص های مثبت همان مدل (۶) را در نظرمی گیریم، سپس با ترکیب این دو شاخص نمره نهائی هر قلم را محاسبه می کنیم، شاخص منفی bI_m یک مدل طبقه بندی اضافی را برای اقلامی که با شاخص مثبت gI_{mn} غیر قابل مقایسه اند، فراهم می کند. فرمول ترکیب کردن دو شاخص منفی و مثبت مدل پیشنهادی نیز در مقایسه با فرمول ترکیب کردن دو شاخص منفی و مثبت مدل فان و ژوو تغییر خواهد کرد و آن بدین دلیل است که برای هر قلم به تعداد N عدد شاخص مثبت و منفی خواهیم داشت.

$$\begin{aligned} Max S_m &= \sum_{n=1}^N w_{mn} y_{mn} \\ s.t. \\ \sum_{n=1}^N w_{mn} &= 1 \\ w_{mn} - w_{m(n+1)} &\geq 0, n=1,2,\dots,(N-1) \\ w_{mn} &\geq 0, n=1,2,\dots,N \end{aligned} \quad (15)$$

به طور جایگزین نمره S_m می تواند از مدل دوگان (۱۲) بدست آید. مدل دوگان (۱۲) با متغیر دوگان Z_i به صورت زیر

$$\begin{aligned} (P2dual) \min z_i &: \text{می باشد:} \\ s.t. \\ z_i &\geq \frac{1}{j} x_{mj} \\ j &= 1,2,\dots,N \end{aligned} \quad (14)$$

حداقل Z_i برای قلم I دقیقاً همان $\max_{j=1,2,\dots,N} (\frac{1}{n} x_{mj})$ است. که این نیز همان $\max_{n=1,2,\dots,N} (\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_{mk})$ که متغیر تصمیم در مساله اصلی (مدل ۶) می باشد است. برای بدست آوردن نمره هر قلم مراحل زیر انجام می گیرد: مرحله ۱- تمامی میانگین های تجمعی را با استفاده از رابطه زیر محاسبه کنید.

$$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{mk}, n=1,2,\dots,N.$$

مرحله ۲- میانگین ها را مقایسه و ماکزیمم آنها را انتخاب کنید. این مقدار نشان دهنده ی نمره قلم M می باشد. مرحله ۳- نمره های S_m را بطور نزولی مرتب کنید. مرحله ۴- اقلام موجودی را با استفاده از اصل تحلیل ABC گروه بندی کنید.

فرآیند هیچ نیازی به بهینه ساز خطی ندارد و برای گروه های وسیعی از اقلام که توسط مدیران فاقد آموزش تخصصی کنترل می شوند، به آسانی قابل اجرا است. لازم به ذکر است که در صورت تغییر رتبه بندی معیارها توسط تصمیم گیرنده، حساسیت تغییر برای نمره یک قلم موجودی می تواند با بررسی موقعیت حداکثر میانگین های تجمعی صورت گیرد. (۴)

۳- تلفیق دو مدل

مدل وان لانگ نیز همانند آر-مدل رابطه ی تمام معیارها را با سطح اهمیت اقلام مثبت در نظر گرفته است ولی مدل فان و ژوو این نقطه ضعف را ندارد بعلاوه آر-مدل و

$$bI_{mn} = \text{Min} S_m = \sum_{n=1}^N u_{mn} x_{mn}$$

s.t.

$$\sum_{n=1}^N n u_{mn} = 1 \quad (19)$$

$$u_{mn} \geq 0, n = 1, 2, \dots, N.$$

دو مدل (۱۷) و (۱۸) تنها یک جواب غیر صفر برای u_{mn} دارند و بقیه u_{mn} ها صفر خواهند بود. بعلاوه تنها متغیر تصمیم غیر صفر (u_{mn}) باید مساوی با $\frac{1}{n}$ باشد. بنابراین می توان دو مدل را بصورت زیر نیز در نظر گرفت:

$$gI_{mn} = \text{Max}_{n=1,2,\dots,N} = \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_{mk} \right) \quad (20)$$

$$bI_{mn} = \text{Min}_{n=1,2,\dots,N} = \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_{mk} \right) \quad (21)$$

برای بدست آوردن نمره بهینه ی هر قلم موجودی مراحل زیر باید انجام گیرد:
مرحله ۱- تمام میانگین های تجمعی gI_{mn} را با استفاده از رابطه زیر محاسبه کنید.

$$gI_{mn} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{mk}, n = 1, 2, \dots, N.$$

مرحله ۲- میانگین های تجمعی gI_{mn} را مقایسه و ماکزیمم و می نیمم آنها را انتخاب کرده و در دو ستون جداگانه بنویسید. ستون مربوط به ماکزیمم ها مقادیر gI_{mn} یکپارچه شده را نشان می دهد و ستون مربوط به می نیمم ها مقادیر bI_{mn} یکپارچه شده را نشان می دهد.

در مدل (۵) محدودیت ها برای تمام اقلام ثابت هستند بنابراین منطقه موجه برای تمام مدلها نیز ثابت خواهد بود و فقط جواب بهینه با توجه به ضرایب (y_{mn}) متغیرها (w_{mn}) تغییر خواهد کرد. همچنین اگر تابع هدف این مدل بصورت **Min** نوشته شود در منطقه موجه آن هیچ تاثیری نخواهد داشت (بدلیل ثابت بودن محدودیت ها). با توجه به این توضیحات و مفروضات مدل، می توان دو مدل مربوط به شاخص های منفی و مثبت را بصورت زیر در نظر گرفت:

$$gI_{mn} = \text{Max} S_m = \sum_{n=1}^N w_{mn} y_{mn}$$

s.t.

$$\sum_{n=1}^N w_{mn} = 1 \quad (16)$$

$$w_{mn} - w_{m(n+1)} \geq 0$$

$$w_{mn} \geq 0, n = 1, 2, \dots, N.$$

$$bI_{mn} = \text{Min} S_m = \sum_{n=1}^N w_{mn} y_{mn}$$

s.t.

$$\sum_{n=1}^N w_{mn} = 1 \quad (17)$$

$$w_{mn} - w_{m(n+1)} \geq 0$$

$$w_{mn} \geq 0, n = 1, 2, \dots, N.$$

پس از اعمال تغییرات جهت ساده کردن، مدلها (۱۵) و (۱۶) بصورت زیر در خواهند آمد. (لازم به ذکر است که برای بدست آوردن مدل‌های زیر تغییر متغیر $u_{mn} = w_{mn} - w_{m(n+1)}$ در نظر گرفته شده است).

$$gI_{mn} = \text{Max} S_m = \sum_{n=1}^N u_{mn} x_{mn}$$

s.t.

$$\sum_{n=1}^N n u_{mn} = 1 \quad (18)$$

$$u_{mn} \geq 0, n = 1, 2, \dots, N.$$

مرحله ۳- با استفاده از رابطه (۲۲) نمره ی بهینه هر قلم را بدست آورید.

$$nI_m(\lambda) = \lambda \times \frac{gI_{mn}^* - gI_{mn}^-}{gI_{mn}^* - gI_{mn}^-} \oplus (1 - \lambda) \times \frac{bI_m^* - bI_m^-}{bI_m^* - bI_m^-} \quad (22)$$

بطوریکه:

$$gI_{mn}^* = \text{Max max} \{gI_{mn}, i = 1, 2, \dots, M\}, gI_{mn}^- = \text{Min max} \{gI_{mn}, i = 1, 2, \dots, M\},$$

$$bI_m^* = \text{Max min} \{bI_m, i = 1, 2, \dots, M\}, bI_m^- = \text{Min min} \{bI_m, i = 1, 2, \dots, M\},$$

$$0 \leq \lambda \leq 1$$

مرحله ۵- اقلام موجودی را با استفاده از اصل تحلیل ABC طبقه بندی کنید.

۴- مدل میانگین رتبه ها جهت مقایسه مدلها

ی طبقه بندی و انتخاب مناسبترین آنها

جوونیر جهت مقایسه نتایج مدلهای طبقه بندی ABC چند معیاره موجودی با یکدیگر از نظر مدیران موجودی (روشی کاملاً کیفی) استفاده کرده است. در این مقاله قصد بر آن است که از یک مدل کمی جهت مقایسه مدلها با یکدیگر بهره گرفته شود که با توجه به ماهیت موضوع (طبقه بندی اقلام در ۳ طبقه A, B و C) می توان راحتی از مدل میانگین رتبه ها بهره گرفته و مدلها را با یکدیگر مقایسه کرد. در ادامه به تشریح نحوه استفاده از مدل میانگین رتبه ها جهت مقایسه مدلها ی مختلف طبقه بندی ABC چند معیاره موجودی می پردازیم:

اگر مدلها ی مورد مقایسه را با $D_i, (i = 1, 2, \dots, I)$ و تعداد اقلام را با $N_i, (i = 1, 2, \dots, n)$ نشان دهیم هر کدام از مدلها ی انتخابی، اقلام را در یکی از سه طبقه A, B و یا C قرار خواهند داد.

در رابطه (۲۲)، λ یک پارامتر کنترل برای ترجیح تصمیم گیرنده در انتخاب شاخصهای منفی و یا مثبت می باشد. اگر λ برابر ۱ باشد nI_m نوع نرمال شده ی شاخص مثبت gI_{mn} خواهد بود. اگر λ برابر صفر باشد nI_m نوع نرمال شده شاخص منفی bI_{mn} خواهد بود. برای دیگر موارد مدل یک توافق بین دو شاخص را می سازد. اگر مدیران موجودی ترجیح قوی نداشته باشند، $\lambda = 0.5$ یک انتخاب عادلانه و منطقی خواهد بود.

gI_{mn} و bI_{mn} ها برای هر قلم به تعداد N عدد می باشد که طبق رابطه ی مربوط به محاسبه ی gI_{mn} برای بدست آوردن نمره ی یکپارچه شده ی آنها باید Max آنها انتخاب شود از طرفی برای وارد کردن gI_{mn} در فرمول مرحله ۴ مدل مجدداً باید از بین نمره های یکپارچه شده، Max و Min آنها را انتخاب کرد. به همین دلیل gI_{mn}^* و gI_{mn}^- به ترتیب $Maxmax$ و $Minmax$ ، gI_{mn} ها و bI_{mn}^* و bI_{mn}^- به ترتیب $Maxmin$ و $Minmin$ ، bI_m ها در نظر گرفته شده اند.

مرحله ۴ - نمره های حاصل از مرحله ۳ را بصورت نزولی مرتب کنید.

جدول ۱. طبقه بندی مدلها ی مختلف از اقلام انتخابی (طبقه ها بصورت فرضی در نظر گرفته شده است)

روش اقلام	D_1	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5
N_1	A	A	A	B	B.....	C
N_2	A	B	C	B	A.....	C
N_3	A	A	A	B	B.....	B
N_4	B	A	A	C	B.....	C
N_5	B	B	B	B	B.....	B
.....						
N_n	C	C	A	B	B.....	C

عملکردشان در معیارهای ملاحظه شده در جدول ۳ آمده است.

۶- طبقه بندی نمونه انتخابی

در تمامی مدل‌های مورد استفاده در این مقاله (بجز روش سنتی که از طبقه بندی مدیران موجودی استفاده شده است) پس از بدست آوردن نمره های نهائی اقلام و مرتب کردن آنها بصورت نزولی برای تعیین تعداد اقلام طبقه های مختلف از طیف لیکرت استفاده شده است. یعنی:

- اگر نمره قلم بزرگتر یا مساوی ۰,۶۶ و کوچکتر یا مساوی ۱ باشد قلم در طبقه A قرار می گیرد.
- اگر نمره قلم بزرگتر یا مساوی ۰,۳۳ و کوچکتر از ۰,۶۶ باشد قلم در طبقه B قرار می گیرد.
- اگر نمره قلم بزرگتر یا مساوی ۰ و کوچکتر یا ۰,۳۳ باشد قلم در طبقه C قرار می گیرد.

۶-۱- طبقه بندی اقلام با استفاده از مدل سنتی

جهت طبقه بندی اقلام با استفاده از مدل سنتی ابتدا ارزش مصرف سالیانه را بدست آوردیم، سپس ارزش مصرف سالیانه را به صورت نزولی مرتب و نهایتاً اقلام را طبقه بندی کردیم. (ستون ۳ در جدول ۴)

۶-۲- طبقه بندی اقلام با استفاده از آر-مدل

جهت طبقه بندی اقلام با استفاده از آر-مدل، ابتدا مدل بهینه سازی خطی مربوط به آر-مدل را ساخته و با استفاده از نرم افزار Lingo، نمره های اقلام را بدست آورده، سپس نمره ها را بصورت نزولی مرتب کرده و نهایتاً اقلام را طبقه بندی می نمائیم. (ستون ۴ در جدول ۴)

۶-۳- طبقه بندی اقلام با استفاده از فان و ژوو

جهت طبقه بندی اقلام با استفاده از مدل فان و ژوو، علاوه بر مدل بهینه سازی خطی مربوط به آر-مدل، مدل بهینه سازی خطی مرتبط با فان و ژوو را نیز ساخته و با استفاده از نرم افزار Lingo، نمره های اقلام را بدست آورده،

به هر کدام از طبقات A، B و C به ترتیب رتبه های ۱، ۲ و ۳ داده می شود، سپس میانگین رتبه های هر قلم موجودی با استفاده از رابطه زیر بدست آمده است.

$$\mu_n = \frac{(1 \times D_A) + (3 \times D_B) + (5 \times D_C)}{I} \quad (23)$$

در رابطه (۲۳) D_A ، D_B و D_C تعداد مدل‌های هستند که قلم n را به ترتیب در طبقات A، B و C قرار داده اند، و I تعداد کل مدل‌هاست.

در مرحله بعد میانگین های بدست آمده را بصورت صعودی مرتب کرده و با توجه به طیف زیر طبقه بندی اقلام صورت می گیرد.

- اگر میانگین رتبه ها بزرگتر یا مساوی ۱ و کوچکتر از ۲,۳۳ باشد قلم در طبقه A قرار می گیرد.
- اگر میانگین رتبه ها بزرگتر یا مساوی ۲,۳۳ و کوچکتر از ۳,۶۶ باشد قلم در طبقه B قرار می گیرد.
- اگر میانگین رتبه ها بزرگتر یا مساوی ۳,۶۶ و کوچکتر یا مساوی ۵ باشد قلم در طبقه C قرار می گیرد.

در آخرین مرحله جهت انتخاب مناسبترین مدل طبقه بندی هر کدام از مدل‌ها را با طبقه بندی بدست آمده از این مدل مقایسه کرده و با اندازه گیری درصد مطابقت طبقه بندی مدل‌ها با طبقه بندی مدل، مدل‌ها را اولویت بندی می کنیم. (جدول ۲)

۵- مطالعه موردی

جهت مقایسه مدل‌ها و انتخاب مناسبترین آنها ما از ۱۰۰ قلم موجودی از ۵ انبار (از هر انبار ۲۰ قلم انتخاب شده اند) شرکت سایپا در ایران استفاده کردیم (جدول ۳). ما برای طبقه بندی چهار معیار قیمت واحد، زمان انتظار، ضریب مصرف و تقاضای سالیانه را در نظر گرفته ایم. همچنین از ۱۴ تصمیم گیرنده برای اولویت بندی معیارها با استفاده از تکنیک AHP گروهی استفاده کرده ایم. تکنیک AHP گروهی اهمیت معیارها را بصورت زیر تعیین کرده است: زمان انتظار < تقاضای سالیانه < قیمت واحد < ضریب مصرف. ۱۰۰ قلم و اندازه های

جدول ۲. نتایج اولویت بندی مدلها با استفاده از میانگین

رتبه ها

اولویت	مدل و درصد مطابقت
اولویت اول	مدل فان و ژوو با ۷۶٪ مطابقت
اولویت دوم	مدل پیشنهادی با ۷۵٪ مطابقت
اولویت سوم	مدل وان لانگ با ۶۴٪ مطابقت
اولویت چهارم	آر-مدل با ۵۷٪ مطابقت
اولویت پنجم	مدل سنتی با ۱۹٪ مطابقت

۸- نتیجه گیری و پیشنهادات

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می شود. اولویتهای اول و دوم به مدل فان و ژوو و مدل پیشنهادی اختصاص یافته است و این امر می تواند به دلیل نداشتن نقاط ضعف مدلها قبلی در مدل پیشنهادی می باشد مدل فان و ژوو نیز هرچند مشکل محاسبات طولانی را دارد ولی با در نظر گرفتن دو جنبه منفی و مثبت معیارها توانسته در اولویت دوم قرار گیرد. بنابراین در طبقه بندی ABC چند معیاره موجودی در نظر گرفتن نوع رابطه معیارها (مثبت یا منفی) با نمره ارقام از اهمیت ویژه ای برخوردار است. به عنوان مثال مدل وان لانگ و آر-مدل با در نظر گرفتن رابطه مثبت تمام معیارها در اولویت های آخر قرار گرفته اند. مدل سنتی نیز به دلیل اینکه فقط دو معیار قیمت واحد و مصرف سالانه را در نظر می گیرد، رتبه آخر را به خود اختصاص داده است.

مدلهائی که جنبه های مثبت و منفی معیارها با سطح عملکرد موجودی را در نظر گرفته اند با اختلاف فاحشی در درصد مطابقت با طبقه بندی روش میانگین رتبه ها در اولویتهای نخست قرار گرفته اند بنابراین پیشنهاد می شود در طبقه بندی ABC چند معیاره موجودی مدلهائی که هم جنبه منفی و هم جنبه مثبت معیارها را در نظر می گیرند نسبت به مدلها دیگری که این ویژگی را نداشته ترجیح داده شوند حتی اگر این مدل ها دارای مزایای دیگری از جمله سادگی محاسبات باشند.

مدلهای مورد استفاده در این مقاله شامل مدل وان لانگ، مدل فان و ژوو، آر-مدل، طبقه بندی سنتی و مدل

سپس نمره ها را بصورت نزولی مرتب کرده و نهایتاً ارقام را طبقه بندی می نمائیم. (ستون ۵ در جدول ۴)

۶-۴- طبقه بندی ارقام با استفاده از مدل وان لانگ

همانطور که قبلاً در ابتدای بخش ۶ اشاره کردیم، از تکنیک AHP گروهی برای تعیین اهمیت معیارها استفاده شده است. در مرحله بعد با انجام دادن گامهای مربوط به مدل وان لانگ، نمره های ارقام را بدست می آوریم سپس نمره ها را بصورت نزولی مرتب کرده و نهایتاً ارقام را طبقه بندی می نمائیم. (ستون ۶ در جدول ۴)

۶-۵- طبقه بندی ارقام با استفاده از مدل یکپارچه شده

شاخص خوب در این مدل همان نمره های مربوط به مدل وان لانگ می باشند. اما برای بدست آوردن شاخص بد باید از میان میانگین های تجمعی محاسبه شده می نیم آنها نیز انتخاب شود. سپس یک شاخص مختلط با ترکیب کردن شاخص های خوب و بد بدست می آوریم. با مرتب کردن نمره های بدست آمده به صورت نزولی طبقه مربوط به هر قلم را تعیین می نمائیم. (ستون ۷ در جدول ۴)

۷- مقایسه مدلها طبقه بندی با استفاده از میانگین رتبه ها و انتخاب مناسبترین مدل

برای این منظور ما رتبه های ۱، ۳ و ۵ را به ترتیب به طبقه های A، B و C اختصاص داده ایم. سپس میانگین رتبه ها را برای هر قلم بدست می آوریم. میانگین های بدست آمده را بصورت صعودی مرتب کرده و بر اساس طیف لیکرت طبقه ارقام را تعیین می نمائیم. در مرحله بعد ما «در صد مطابقت» طبقه بندی هر کدام از مدلها با طبقه بندی بدست آمده از روش میانگین رتبه ها را بدست می آوریم. مدلی که بیشترین «در صد مطابقت» را دارد به عنوان مناسبترین شناخته می شود. (جدول ۲)

- control policies. *Production and Inventory Management Journal* 29(3):6-8.
7. H.A. Guvenir, E. Erel, (1998), Multicriteria inventory classification using a genetic algorithm, *European Journal of Operational Research* 105, 29-37
 8. J.Puente, D. de la Fuente, P. Priore, R. Pino. (2002), ABC Classification with uncertain data: a fuzzy model vs. a probabilistic model. *Applied Artificial Intelligence*; 16(6) 443-456.
 9. FY. Partovi, M. Anandarajan, (2002), Classifying inventory using an artificial neural network approach. *Computers & Industrial Engineering*; 41:389-404.
 10. P. Zhou & L. Fan, (2007), A note on multi-criteria ABC inventory classification using weighted linear optimization, *European Journal of Operational Research* 182, 1488-1491
 11. J.Rezaei, (2007), A Fuzzy Model for Multi-Criteria Inventory Classification, *Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Analysis of Manufacturing Systems*, AMS
 12. P.Hautaniemi, T.Pirttila, (1999), The choice of replenishment policies in an MRP environment. *International Journal of Production Economics*; 59:85-92
 13. P.W. Stonebraker, G.K. Leong, (1994), *Operations strategy: focusing competitive excellence*. Allyn and Bacon: Boston
 14. E.Triantaphyllou, (2000), *Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*, Kluwer Academic Publishers, Boston,
 15. A.Charnes, W.W. Cooper, A.Y.Lewin, L.M.Seiford, (1994), *Data envelopment analysis: theory methodology and applications*. Kluwer Boston
 16. W.W. Cooper, L.M. Seiford. T.Tone, (2006), *Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses: With DEA-Solver Software and References*, Springer, New York
 17. V.Belton, T. Stewart, (2001), *Multi-criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*, Kluwer Academic Publishers, Boston

۱۸. مومنی، منصور، (۱۳۸۵) مباحث نوین تحقیق در عملیات، چاپ اول، انتشارات دانشکده مدیریت دانشگاه تهران،

پیشنهادی می باشند که هر کدام از این مدلها توضیح و آزمون آنها روی ۱۰۰ قلم موجودی انتخاب شده از انبارهای تولیدی داخلی شرکت سایپا بر اساس چهار معیار قیمت واحد، ضریب مصرف، زمان انتظار و میزان سفارش سالیانه نیز آمده است. پس از مقایسه مدلها با استفاده از مدل ارائه شده مدل فان و ژوو و مدل پیشنهادی در اولویت های نخست و مدل های وان لانگ، آر- مدل و مدل سنتی در اولویتهای آخر قرار گرفته اند. پژوهش در زمینه مقایسه مدلها ی ارائه شده در این مقاله با مدلها ی دیگری از قبیل تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم شبکه های عصبی مصنوعی و... همچنین مطالعه کامل روشهای ارائه شده در زمینه طبقه بندی ABC چند معیاره موجودی و تعیین مزیتها و معایب آنها و اولویت بندی آنها با استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی می تواند موجب توسعه موضوع طبقه بندی ABC چند معیاره موجودی شود. از جمله معیارهایی که می توان برای استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی در نظر گرفت می توان به درجه کمی بودن روش، درجه کیفی بودن روش، پیچیدگی محاسباتی روش، نوع رابطه ای که روش برای معیارها با سطح عملکرد اقلام در نظر گرفته است و... اشاره کرد.

۷- منابع و مآخذ

1. R. Ramanathan, (2006), ABC inventory classification with multiple criteria using weighted linear optimization, *Computers & Operations Research* 33, 695-700
2. B.E. Flores, D.C. Whybark, (1986), Multiple criteria ABC analysis. *International Journal of Operations and Production Management*,
3. T.E.Vollmann, W.L. Berry, D.C. Whybark, fourth ed. (1997), *Manufacturing Planning and Control Systems*. McGraw-Hill, Boston.
4. W.L. Ng, (2007), A simple classifier for multiple criteria ABC analysis, *European Journal of Operational Research* 177,344-353
5. B.E. Flores, & D.C. Whybark, (1987), Implementing multiple criteria ABC analysis. *Journal of Operation Management*; 7(1), 79-84
6. M.A. Cohen, R. Ernst, (1988), Multi-item classification and generic inventory stock

جدول ۳. لیست نمونه انتخابی از انبارهای تولیدی داخلی شرکت سایپا و مشخصات آنها

انبارها: ۱- انبار قوای محرکه ۲- انبار مواد اولیه (استاندارد) ۳- انبار شناسی ۴- انبار موتتاژ ۵- انبار مواد اولیه (کارتنی)

تامین کنندگان: ۲- مگاموتور ۳- سازه گستر ۱۱- تدارکات ۱۷- قالبها

ردیف	کد کالا	تامین کننده کالا	قیمت واحد (ریال)	ضریب مصرف	زمان انتظار (روز)	میزان سفارش سالیانه	انبار کالا
1	۵۳۷۲۰۰۲۰۱۰	۳	109024	1	2	400000	1
2	۵۳۷۳۳۷۰۰۴۷	۳	266056	5	1	2000000	1
3	۵۳۷۳۳۷۰۰۳۹	۳	26087	4	4	1600000	1
4	۵۳۷۴۱۵۰۰۱۶	۳	194578	1	2	400000	1
5	۵۳۷۵۰۰۶۰۱۶	۳	3287	1	4	400000	1
6	۵۳۷۵۰۱۶۰۱۱	۳	563۴8	1	3	400000	1
7	۵۳۷۶۰۰۰۹۴۱	۲	4090636	1	1	400000	1
8	۵۳۷۶۰۲۰۰۶۳	۲	6951845	1	1	400000	1
9	۵۳۷۶۰۴۷۰۷۷	۳	491375	1	2	400000	1
10	۵۳۷۶۱۲۰۰۱۷	۲	6881473	1	1	400000	1
11	۵۳۷۶۱۶۲۰۵۴	۳	6851	1	2	400000	1
12	۵۳۷۶۱۹۰۰۲۳	۳	21000	1	4	400000	1
13	۵۳۷۶۲۰۵۰۱۲	۲	1008406	1	1	400000	1
14	۵۳۷۶۲۰۶۰۱۹	۲	4100000	1	1	400000	1
15	۵۳۷۶۲۵۵۰۱۰	۳	76654	1	2	400000	1
16	۵۳۷۶۲۸۷۰۱۹	۳	222894	1	2	400000	1
17	۵۳۷۶۴۰۰۰۳۶	۳	94860	1	2	400000	1
18	۵۳۷۶۴۲۰۱۰۰	۳	209746	1	2	400000	1
19	۵۳۷۶۵۰۰۲۹۴	۳	231454	1	1	400000	1
20	۵۳۷۶۴۵۰۱۸۱	۳	91698	1	4	400000	1
21	5541002644	۳	311	1	10	400000	2
22	5376118071	۳	503	1	10	400000	2
23	5376000968	۳	347	4	10	1600000	2
24	5376510036	۱۱	2500	1	10	400000	2
25	5541003268	۳	31	1	10	400000	2
26	5376057609	۳	2594	1	10	400000	2
27	5541001311	۳	119	2	10	800000	2
28	5376137017	۳	148	1	10	400000	2
29	5376137025	۳	211	1	10	400000	2
30	5376027025	۳	700	1	8	400000	2
31	5376148027	۳	148	1	8	400000	2
32	5376198024	۳	1581	1	8	400000	2
33	5376000844	11	2000	5	10	2000000	2
34	5376439013	۳	2495	4	10	1600000	2
35	5376392017	۳	264	1	10	400000	2
36	5376047034	۳	1200	4	10	1600000	2
37	5376278036	۳	167200	1	5	400000	2
38	5542004020	۳	576	1	10	400000	2
39	5376430067	۳	422	1	10	400000	2
40	5376440011	۳	228	1	10	400000	2
41	۵۳۷۱۰۰۲۰۳۲	۳	60770	1	2	400000	3
42	۵۳۷۶۴۳۷۰۱۰	۳	92374	1	2	400000	3
43	۵۳۷۶۰۵۹۲۲۹	۳	4821	1	8	400000	3

3	400000	3	1	16358	۲	۵۳۷۶۴۳۳۰۱۵	44
3	400000	5	1	15278	۲	۵۳۷۶۵۸۰۰۱۸	45
3	400000	5	1	1703	۲	۵۳۷۶۵۸۰۰۵۰	46
3	400000	2	1	71098	۲	۵۳۷۶۳۵۶۰۲۹	47
3	400000	3	1	19541	۲	۵۳۷۶۳۵۸۰۱۳	48
3	400000	3	1	19502	۲	۵۳۷۶۳۵۰۰۲۰	49
3	400000	2	1	116280	۱۷	۵۳۷۶۷۰۰۱۲۹	50
3	400000	2	1	149295	۱۷	۵۳۷۶۷۰۰۱۶۱	51
3	400000	4	1	3004	۲	5376129120	52
3	400000	4	1	10812	۲	5376433090	53
3	800000	8	2	6271	۲	5376433147- 5376433201	54
3	800000	8	2	6078	۲	5376433163- 5376433228	55
3	800000	8	2	3256	۲	5376433180- 5376433244	56
3	800000	8	2	5270	۲	5376433279- 5376433295	57
3	400000	4	1	12885	۱۷	5376620176	58
3	400000	4	1	27890	۱۷	5376620370	59
3	400000	5	1	18324	۲	5376530169	60
4	800000	10	2	717	۲	5376362070	61
4	400000	8	1	14595	۲	5376001913	62
4	400000	2	1	14229	۲	5376051015	63
4	400000	3	1	56389	۲	5376610138	64
4	800000	8	2	6156	۲	5376294015	65
4	2800000	10	7	398	۲	5376444017	66
4	800000	8	2	6156	۲	5376294023	67
4	400000	8	1	23650	۲	5376130110	68
4	400000	8	1	10225	۲	5376072012	69
4	400000	5	1	19648	۲	5376153012	70
4	400000	4	1	46785	۲	5376252010	71
4	400000	3	1	56389	۲	5376610278	72
4	400000	8	1	21080	۲	5376660127	73
4	800000	5	2	1507	۲	5376186026	74
4	800000	8	2	2540	۲	5376151010	75
4	400000	8	1	1813	۲	5376334017	76
4	400000	5	1	8532	۲	5376282017	77
4	400000	3	1	3974	۲	5376610014	78
4	800000	10	2	861	۲	5544003013	79
4	800000	4	2	3636	۲	5376291016	80
5	400000	4	1	13280	۲	5376690115	81
5	400000	4	1	33174	۲	۵۳۷۶۱۵۶۰۲۰	82
5	800000	5	2	3036	۲	5376059075	83
5	800000	10	2	864	۲	5376193014	84
5	800000	10	2	1528	۲	5376134034	85
5	1600000	5	4	503	۲	5376117016	86
5	800000	5	2	2278	۲	5376217010	87
5	400000	5	1	18919	۲	۵۳۷۶۲۲۲۰۲۰	88
5	1600000	10	4	450	۲	5376118330	89
5	1200000	5	3	3557	۲	5376294031	90
5	400000	5	1	2024	۲	5376370021	91
5	400000	5	1	14334	۲	5376231013	92

5	400000	5	1	25300	۲	5376180290	93
5	400000	4	1	16089	۳	۵۳۷۶۲۹۵۰۱۱	94
5	400000	3	1	151776	۳	۵۳۷۶۵۹۰۱۴۵	95
5	2400000	10	6	475	۳	5376149040	96
5	400000	5	1	40425	۳	۵۳۷۶۲۰۰۱۰۰	97
5	400000	4	1	22273	۳	۵۳۷۶۱۳۰۱۸۷	98
5	400000	3	1	17180	۳	۵۳۷۶۰۵۵۰۳۷	99
5	400000	4	1	70350	۳	۵۳۷۶۰۰۱۸۵۹	100

جدول ۴. طبقه بندی نمونه انتخابی با استفاده از مدل‌های مورد استفاده و مدل پیشنهادی

انبارها: ۱- انبار قوای محرکه ۲- انبار مواد اولیه (استاندارد) ۳- انبار شناسی ۴- انبار موتناژ ۵- انبار مواد اولیه (کارتنی)

ردیف	کد کالا	طبقه بندی مدل سستی	طبقه بندی آر- مدل	طبقه بندی مدل فان و ژوو	طبقه بندی مدل وان لانگ	طبقه بندی مدل پیشنهادی	انبار کالا
1	۵۳۷۲۰۰۲۰۱۰	A	C	C	C	C	1
2	۵۳۷۳۳۷۰۰۴۷	A	A	B	B	C	1
3	۵۳۷۳۳۷۰۰۲۹	A	B	A	B	B	1
4	۵۳۷۴۱۵۰۰۱۶	A	C	C	C	C	1
5	۵۳۷۵۰۰۶۰۱۶	C	B	C	B	C	1
6	۵۳۷۵۰۰۱۶۰۱۱	A	C	C	C	C	1
7	۵۳۷۶۰۰۰۹۴۱	A	B	C	C	C	1
8	۵۳۷۶۰۲۰۰۶۳	A	A	B	B	C	1
9	۵۳۷۶۰۴۷۰۷۷	A	C	C	C	C	1
10	۵۳۷۶۱۲۰۰۱۷	A	A	B	C	C	1
11	۵۳۷۶۱۶۲۰۵۴	C	C	C	C	C	1
12	۵۳۷۶۱۹۰۰۲۳	B	B	C	B	C	1
13	۵۳۷۶۲۰۵۰۱۲	A	C	C	C	C	1
14	۵۳۷۶۲۰۶۰۱۹	A	B	C	C	C	1
15	۵۳۷۶۲۵۵۰۱۰	B	C	C	C	C	1
16	۵۳۷۶۲۸۷۰۱۹	A	C	C	C	C	1
17	۵۳۷۶۴۰۰۰۳۶	A	C	C	C	C	1
18	۵۳۷۶۴۲۰۱۰۰	A	C	C	C	C	1
19	۵۳۷۶۴۵۰۰۲۹۴	A	C	C	C	C	1
20	۵۳۷۶۴۵۰۱۸۱	A	B	C	B	C	1
21	5541002644	C	A	B	A	A	2
22	5376118071	C	A	B	A	A	2
23	5376000968	C	A	A	A	A	2
24	5376510036	C	A	B	A	A	2
25	5541003268	C	A	B	A	A	2
26	5376057609	C	A	A	B	A	2
27	5541001311	C	A	B	A	A	2
28	5376137017	C	A	B	A	A	2
29	5376137025	C	A	B	A	A	2
30	5376027025	C	A	B	A	B	2
31	5376148027	C	A	B	A	B	2
32	5376198024	C	A	B	A	B	2
33	5376000844	B	A	A	A	A	2
34	5376439013	B	A	A	A	A	2
35	5376392017	C	A	B	A	A	2
36	5376047034	C	A	A	A	A	2
37	5376278036	A	B	C	B	C	2
38	5542004020	C	A	B	A	A	2
39	5376430067	C	A	B	A	A	2

2	A	A	B	A	C	5376440011	40
3	C	C	C	C	B	۵۳۷۱۰۰۲۰۳۲	41
3	C	C	C	C	A	۵۳۷۶۴۳۷۰۱۰	42
3	B	A	B	A	C	۵۳۷۶۰۵۹۲۲۹	43
3	C	C	C	C	B	۵۳۷۶۴۳۳۰۱۵	44
3	C	B	C	B	B	۵۳۷۶۵۸۰۰۱۸	45
3	C	B	C	B	C	۵۳۷۶۵۸۰۰۵۰	46
3	C	C	C	C	B	۵۳۷۶۳۵۶۰۲۹	47
3	C	C	C	C	B	۵۳۷۶۳۵۸۰۱۳	48
3	C	C	C	C	B	۵۳۷۶۳۵۰۰۲۰	49
3	C	C	C	C	A	۵۳۷۶۷۰۰۱۲۹	50
3	C	C	C	C	A	۵۳۷۶۷۰۰۱۶۱	51
3	C	B	C	B	C	5376129120	52
3	C	B	C	B	B	5376433090	53
3	B	A	A	A	B	5376433147- 5376433201	54
3	C	C	A	A	B	5376433163- 5376433228	55
3	C	C	A	A	C	5376433180- 5376433244	56
3	C	C	A	A	B	5376433279- 5376433295	57
3	C	C	C	B	B	5376620176	58
3	C	C	C	B	B	5376620370	59
3	C	C	C	B	B	5376530169	60
4	C	C	A	A	C	5376362070	61
4	C	C	B	A	B	5376001913	62
4	C	C	C	C	B	5376051015	63
4	C	C	C	C	B	5376610138	64
4	B	A	A	A	B	5376294015	65
4	A	A	A	A	C	5376444017	66
4	B	A	A	A	B	5376294023	67
4	B	A	B	A	B	5376130110	68
4	B	A	B	A	B	5376072012	69
4	C	B	C	B	B	5376153012	70
4	C	B	C	B	B	5376252010	71
4	C	C	C	C	B	5376610278	72
4	B	A	B	A	B	5376660127	73
4	B	B	C	B	C	5376186026	74
4	B	A	A	A	C	5376151010	75
4	B	A	B	A	C	5376334017	76
4	C	B	C	B	B	5376282017	77
4	C	C	C	C	C	5376610014	78
4	A	A	A	A	C	5544003013	79
4	C	B	C	B	C	5376291016	80
5	C	B	C	B	B	5376690115	81
5	C	B	C	B	B	۵۳۷۶۱۵۶۰۲۰	82
5	B	B	C	B	C	5376059075	83
5	A	A	A	A	C	5376193014	84
5	A	A	A	A	C	5376134034	85
5	B	B	C	B	C	5376117016	86
5	B	B	C	B	C	5376217010	87
5	C	B	C	B	B	۵۳۷۶۲۷۲۰۲۰	88
5	A	A	A	A	C	5376118330	89
5	B	B	B	B	B	5376294031	90
5	C	B	C	B	C	5376370021	91
5	C	B	C	B	B	5376231013	92
5	C	B	C	B	B	5376180290	93
5	C	B	C	B	B	۵۳۷۶۲۹۵۰۱۱	94
5	C	C	C	C	A	۵۳۷۶۵۹۰۱۴۵	95
5	A	A	A	A	C	5376149040	96
5	B	C	C	B	B	۵۳۷۶۲۰۰۱۰۰	97
5	C	B	C	B	B	۵۳۷۶۱۳۰۱۸۷	98
5	C	C	C	C	B	۵۳۷۶۰۵۵۰۳۷	99
5	C	B	C	B	B	۵۳۷۶۰۰۱۸۵۹	100

جدول ۵. میانگین رتبه های اقلام و طبقه بندی آنها

ردیف	کد کالا	میانگین رتبه های هر قلم	طبقه بندی اقلام	انبار کالا
1	۵۳۷۲۰۰۲۰۱۰	4.2	C	1
2	۵۳۷۳۳۷۰۰۴۷	2.6	B	1
3	۵۳۷۳۳۷۰۰۳۹	2.2	A	1
4	۵۳۷۴۱۵۰۰۱۶	4.2	C	1
5	۵۳۷۵۰۰۶۰۱۶	4.2	C	1
6	۵۳۷۵۰۱۶۰۱۱	4.2	C	1
7	۵۳۷۶۰۰۹۴۱	3.8	C	1
8	۵۳۷۶۰۲۰۰۶۳	2.6	B	1
9	۵۳۷۶۰۴۷۰۷۷	4.2	C	1
10	۵۳۷۶۱۲۰۰۱۷	3	B	1
11	۵۳۷۶۱۶۲۰۵۴	5	C	1
12	۵۳۷۶۱۹۰۰۲۳	3.8	C	1
13	۵۳۷۶۲۰۵۰۱۲	4.2	C	1
14	۵۳۷۶۲۰۶۰۱۹	3.8	C	1
15	۵۳۷۶۲۵۵۰۱۰	4.6	C	1
16	۵۳۷۶۲۸۷۰۱۹	4.2	C	1
17	۵۳۷۶۴۰۰۰۳۶	4.2	C	1
18	۵۳۷۶۴۲۰۱۰۰	4.2	C	1
19	۵۳۷۶۵۰۰۲۹۴	4.2	C	1
20	۵۳۷۶۴۵۰۱۸۱	3.4	B	1
21	5541002644	2.2	A	2
22	5376118071	2.2	A	2
23	5376000968	1.8	A	2
24	5376510036	2.2	A	2
25	5541003268	2.2	A	2
26	5376057609	2.2	A	2
27	5541001311	2.2	A	2
28	5376137017	2.2	A	2
29	5376137025	2.2	A	2
30	5376027025	2.6	C	2
31	5376148027	2.6	C	2
32	5376198024	2.6	C	2
33	5376000844	1.4	A	2
34	5376439013	1.4	A	2
35	5376392017	2.2	A	2
36	5376047034	1.8	A	2
37	5376278036	3.4	B	2
38	5542004020	2.2	A	2
39	5376430067	2.2	A	2
40	5376440011	2.2	A	2
41	۵۳۷۱۰۰۲۰۳۲	4.6	C	3
42	۵۳۷۶۴۳۷۰۱۰	4.2	C	3
43	۵۳۷۶۰۵۹۲۲۹	2.6	B	3
44	۵۳۷۶۴۳۳۰۱۵	4.6	C	3
45	۵۳۷۶۵۸۰۰۱۸	3.8	C	3
46	۵۳۷۶۵۸۰۰۵۰	4.2	C	3
47	۵۳۷۶۳۵۶۰۲۹	4.6	C	3

3	C	4.6	5376358013	48
3	C	4.6	5376350020	49
3	C	4.2	5376700129	50
3	C	4.2	5376700161	51
3	C	4.2	5376129120	52
3	C	3.8	5376433090	53
3	A	1.8	5376433147-5376433201	54
3	B	3	5376433163-5376433228	55
3	B	3.4	5376433180-5376433244	56
3	B	3	5376433279-5376433295	57
3	C	4.2	5376620176	58
3	C	4.2	5376620370	59
3	C	4.2	5376530169	60
4	B	3.4	5376362070	61
4	B	3.4	5376001913	62
4	C	4.6	5376051015	63
4	C	4.6	5376610138	64
4	A	1.8	5376294015	65
4	A	1.8	5376444017	66
4	A	1.8	5376294023	67
4	A	2.2	5376130110	68
4	A	2.2	5376072012	69
4	C	3.8	5376153012	70
4	C	3.8	5376252010	71
4	C	4.6	5376610278	72
4	A	2.2	5376660127	73
4	C	3.8	5376186026	74
4	A	2.2	5376151010	75
4	B	2.6	5376334017	76
4	C	3.8	5376282017	77
4	C	5	5376610014	78
4	A	1.8	5544003013	79
4	C	4.2	5376291016	80
5	C	3.8	5376690115	81
5	C	3.8	5376156020	82
5	C	3.8	5376059075	83
5	A	1.8	5376193014	84
5	A	1.8	5376134034	85
5	C	3.8	5376117016	86
5	C	3.8	5376217010	87
5	C	3.8	5376272020	88
5	A	1.8	5376118330	89
5	B	3	5376294031	90
5	C	4.2	5376370021	91
5	C	3.8	5376231013	92
5	C	3.8	5376180290	93
5	C	3.8	5376295011	94
5	C	4.2	53764590145	95
5	A	1.8	5376149040	96
5	C	3.8	5376200100	97
5	C	3.8	5376130187	98
5	C	4.6	5376055037	99
5	C	3.8	5376001859	100