ارائه الگوی تصمیم‌گیری مناسب تعمیر، بازسازی یا جایگزینی اتوبوس‌های فرسوده سازمانی
(مطالعه موردی اتوبوس‌های یک سازمان نظامی)

دکتر مسعود مصدق‌خواه[1]، دکتر حسینعلی حسن‌پور[2]، حسین قنبریان[3*]
دانشگاه جامع امام حسین (ع)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۸/۲۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۰/۲۰

چکیده

یکی از مسائل مهم در حوزه تصمیم‌گیری‌های سازمان، تعیین زمان بهینه استفاده از تجهیزات می‌باشد. مدیران باید تصمیم مناسبی را برای تعمیر، بازسازی یا جایگزینی تجهیزات اتخاذ نمایند به‌طوری که بیشترین منافع و کمترین هزینه را برای سازمان داشته باشد.

در سازمان‌های نظامی، بخشی از مأموریت سیستم آماد و پشتیبانی، جابه‌جایی یگان‌ها، اقلام، تجهیزات و نیروی انسانی می‌باشد که در این راستا باید نیروی انسانی، تجهیزات نظامی، مهمات، آذوقه و سایر نیازمندی‌های مربوط را به‌موقع به مکان مورد نظر منتقل نماید.

در این مقاله سعی شده است با به‌کارگیری روش‌های اقتصاد مهندسی و مدل‌سازی ریاضی الگوی مناسب تصمیم‌گیری ارائه شود. سپس با شناسایی هزینه‌های چرخه عمر در قالب ارزیابی اقتصادی، ارزیابی فنی، ارزیابی بودجه‌ای و برنامه‌ریزی صفر و یک، الگوی تصمیم‌گیری مناسب تعمیر، بازسازی یا جایگزینی اتوبوس‌های سازمانی ارائه گردد. الگوی معرفی شده در قالب مطالعه موردی برای اتوبوس‌های یک سازمان نظامی تشریح شده است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی فنی، بودجه‌ای و اقتصادی، تعمیر، بازسازی، جایگزینی، اتوبوس سازمانی

مقدمه

سازمان‌های مختلف به نسبت گستردگی و نوع مأموریت، به‌منظور افزایش بهره‌وری و استفاده بهینه از تجهیزات، سالانه هزینه‌های کلانی را صرف خرید کالاها و تجهیزات مورد نیاز می‌نمایند.

تجهیزات بعد از مدتی کارکرد به مرحله‌ای می‌رسند که با وجود اعمال روش‌های نگهداری و تعمیرات مناسب، هزینه‌های زیادی (ازجمله هزینه‌های بهره‌برداری، نت، قطعات یدکی و...) را به سازمان تحمیل نموده و به نظر می‌رسد ادامه استفاده از آنها از لحاظ اقتصادی به‌صرفه نباشد. از سوی دیگر، برخی از تجهیزات در اختیار کاربران، بعد از مدتی به دلایل مختلف ازجمله پایان عمر قانونی، تغییر در جداول سازمانی، صدمه دیدن براثر حادثه، مازاد بر نیاز بودن، کاربرد خود را از دست داده و بلااستفاده رها می‌گردند. لازم است در این مقطع از عمر خدمتی، کالای مورد نظر از سازمان خارج و اقلام به‌روز را جایگزین نمود و یا اینکه با تعمیرات اساسی تجهیز مورد نظر را بازسازی نموده و دوباره به سازمان برگرداند [۱].

۱- دانشیار گروه مهندسی صنایع دانشگاه جامع امام حسین (ع)، پست‌الکترونیکی: mmkh1342@yahoo.com
۲- استادیار گروه مهندسی صنایع دانشگاه جامع امام حسین (ع)، پست‌الکترونیکی: hahassan@ihu.ac.ir
۳*- کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، نویسنده پاسخگو، پژوهشگر مرکز مطالعات و پژوهش‌های لجستیکی، پست‌الکترونیکی: HGH132@gmail.com، نشانی: تهران، شهرک قدس، خیابان هرمزان، خیابان پیروزان جنوبی، نبش خیابان پنجم، ساختمان اسری، مرکز مطالعات و پژوهش‌های لجستیکی.

تصمیم‌گیری در خصوص نحوه خروج این کالاها و تجهیزات باید به‌گونه‌ای باشد که سازمان به نسبت نوع و اهمیت کالا و تجهیز، کمترین زیان را متحمل شود. این مسئله در سازمان‌های نظامی به‌دلیل اینکه همواره باید آمادگی و چابکی یا به عبارتی توان لجستیکی و عملیاتی خود را حفظ و حتی ارتقاء دهند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

یکی از اصول آماد و پشتیبانی نظامی اصل "سرعت و تحرک" می‌باشد، زمانی که سیستم لجستیک و ترابری قابلیت تحرک بالایی داشته باشد، تأثیرگذاری بیشتری در محیط عملیاتی خواهد داشت[۲].

با توجه به ماهیت مأموریتی سازمان‌های نظامی، بخشی از مأموریت سیستم آماد و پشتیبانی جابه‌جایی یگان‌ها، اقلام و تجهیزات می‌باشد که در این راستا با استفاده از امکانات و تجهیزات حمل‌ونقل، "نیروی انسانی، تجهیزات نظامی، مهمات، آذوقه و سایر نیازمندی‌های مربوط" را باید به‌موقع به مکان مناسب منتقل نماید.

با توجه به شرایط خاص اقتصادی کشور و تأثیر آن بر سازمان‌های نظامی، تصمیم‌گیری مناسب تعمیر، بازسازی یا جایگزینی اتوبوس‌های سازمانی می‌تواند علاوه بر کاهش هزینه‌ها، باعث افزایش توان لجستیکی سازمان‌های نظامی گردد.

۱- کاربرد مدل‌های تصمیم‌گیری[1] در تحلیل جایگزینی

در محاسبه هزینه‌ها، فرمول‌های اقتصاد مهندسی نقش مهمی دارند، با توجه به این محاسبات علاوه بر محاسبه عمر اقتصادی می‌توان تصمیم‌های مربوط به انتخاب گزینه مناسب را نیز انجام داد.

یکی از روش‌های کاربردی اقتصاد مهندسی «تجزیه‌وتحلیل جایگزینی» است که هدف آن مقایسه اقتصادی دو دارایی که یکی از آنها در حال حاضر موجود است و دیگری نامزد تعویض با آن می‌باشد. تعویض دارایی معمولاً در زمانی صورت می‌گیرد که آن دارایی از لحاظ فیزیکی قابلیت ادامه به‌کار را داشته باشد. این کار به خاطر فرسودگی فیزیکی، اسقاط برنامه‌ریزی شده، اسقاط برنامه-ریزی نشده، عدم بهره‌وری وسایل موجود و پیشرفت فناوری می‌باشد [۳] .

نمونه‌هایی از کاربرد مدل‌های تصمیم‌گیری در تحلیل جایگزینی در زیر بیان می‌گردد:

توسط ژانگ[2] و هانگ[3]، چرخه عمر وسایل نقلیه با سوخت زغال‌سنگ در ناوگان حمل و نقل شهری چین مورد ارزیابی قرار گرفته است. با متدولوژی ارزیابی چرخه عمر (LCA)[4]، یک مدل برای ارزیابی جایگزینی وسایل نقلیه با سوخت زغال‌سنگ با خودروهای با سوخت مشتقات نفت ارائه نمودند[۴].

پورتر[5] و همکاران در گزارشی مدل جایگزینی ناوگان حمل و نقل ایالات‌متحده را بررسی نمودند که بر روی مدل‌سازی جایگزینی تجهیزات برای ناوگان حمل‌ونقل متمرکز است[۵].

مقایسه زیست‌محیطی بین تعمیر و جایگزینی برای وسایل نقلیه تصادفی توسط ورستون و همکاران انجام شده است. دو گزینه برای تعمیر خودروهای تصادفی وجود دارد: تعمیر قطعات آسیب‌دیده و یا جایگزین کردن آنها. برای انتخاب راه‌حل بهینه ملاحظات اقتصادی و زیست‌محیطی در نظر گرفته می‌شوند[۶].

عوامل زیست‌محیطی مؤثر بر جایگزینی تجهیزات در شرایط تغییر فناوری توسط زولان بررسی شده است. جایگزینی یک حقیقت غیر قابل انکار در چرخه عمر تجهیزات است. در این مقاله به این پرسش پاسخ می‌دهد که: چگونه سیاست‌گذاران می‌توانند تعادل اثرگذاری بین ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی را برای تصمیم‌گیری جایگزینی برقرار نمایند[۷].

جایگزین نمودن خودروهای برقی ناوگان حمل و نقل تجاری در آمریکا توسط فنگ و فیگلیوزی بررسی شده است. آنها عوامل اقتصادی و فنی مؤثر بر جایگزینی خودروهای برقی حمل و نقل تجاری در ایالات‌متحده آمریکا را تجزیه‌وتحلیل نموده‌اند[۸].

مدلی جهت تعیین عمر بهینه خودروهای مسافربر مبتنی بر کمینه نمودن گاز CO_2 توسط میجایلوی ارائه شده است. وی برای به‌دست آوردن نتایج عددی، از اطلاعات ناوگان حمل مسافر جدید در ۱۴ کشور اتحادیه اروپا استفاده نموده است[۹].

1- Decision Making Models

2- Zhang
3- Huang
4- Life Cycle Assessment
5- Porter

مدل تصمیمات جایگزینی و تعمیرات مطلوب در شرایط تغییرات فناوری با در نظر گرفتن موجودی قطعات یدکی توسط نگوین و همکاران ارائه شده است [۱۰].

سیاست بهینه تعویض تجهیزات با احتساب ارزش زمانی پول در افق محدود توسط ربانی و وزیری ارائه شده است. نتایج حاصل از حل عددی بیانگر وجود تفاوت در استفاده از دو نگرش ارزش معادل و ارزش فعلی خالص در تعیین دوره زمانی بهینه تعویض تجهیز همگام با پیشرفت فناوری می‌باشد[۱۱].

یک سیستم چندعاملی به‌منظور تعیین برنامه‌های تعویض، تعمیر و بازرسی تجهیزات توسط نخعی و حیدری ارائه گردید[۱۲].

مکانیزم تصمیم‌گیری در مورد تعویض یا تعمیر اتوبوس‌های شهری بر پایه عامل‌های هوشمند توسط نخعی و حیدری ارائه شده است[۱۳].

مدلی برای بهینه‌سازی زمان جایگزینی تجهیزات با استفاده از هزینه چرخه عمر توسط یوسفی و همکاران ارائه گردید[۱۴].

در تحقیقی طول عمر اقتصادی اتوبوس‌های درون شهری توسط محمدبیگی و تنگستانی‌پور برآورد شده است. آنها مطالعه موردی برای اتوبوس‌هایMAN فعال در شرکت اتوبوس‌رانی تهران انجام داده‌اند[۱۵].

۲- روش تحقیق و ارائه مدل

الگوی تصمیم‌گیری مناسب در خصوص تعمیر، بازسازی یا جایگزینی تجهیزات فرسوده سازمانی در شکل (۱) نشان داده شده است.

با توجه به هدف این مقاله که ارائه الگویی برای تصمیم‌گیری مناسب در خصوص تعمیر، بازسازی یا جایگزینی اتوبوس‌های فرسوده سازمانی است، نمودار تفصیلی الگوی ارائه شده در شکل (۲) نشان داده شده است.

۳- تشریح مدل تصمیم‌گیری مناسب تعمیر، بازسازی یا جایگزینی اتوبوس‌های فرسوده

در هر سازمان نظامی تعداد زیادی اتوبوس جهت حمل مسافر (نیرو) به‌کارگیری می‌شوند که بخشی از آنها به علت قدمت، کارایی لازم را نداشته و ادامه به‌کارگیری آنها به‌صرفه و صلاح سازمان نبوده و هزینه‌های اقتصادی زیادی را به سازمان تحمیل می‌نماید.

۳-۱ – انتخاب اتوبوس

با توجه به دلایل زیر جهت مطالعه موردی مدل، اتوبوس‌های نظامی انتخاب شد:

- هر اتوبوس جدید حدود سه تا چهار میلیارد ریال هزینه اکتساب (خرید و آماده‌سازی) دارد و در سال‌های مختلف هزینه بسیار بالایی صرف بهره‌برداری و نگهداری آن می‌شود.
- تعداد زیادی اتوبوس در یگان‌های مختلف نظامی در حال استفاده و ارائه خدمات می‌باشند.
- با توجه به قابلیت غیرنظامی شدن اتوبوس‌ها و قابل استفاده بودن آن در بازار، امکان فروش و جایگزینی دارد.

۳-۲- تعیین نوع اتوبوس

اتوبوس‌های سازمانی با توجه به نوع مأموریت به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند.

- اتوبوس‌های درون‌شهری
- اتوبوس‌های برون‌شهری

۳-۳ – ارزیابی فنی

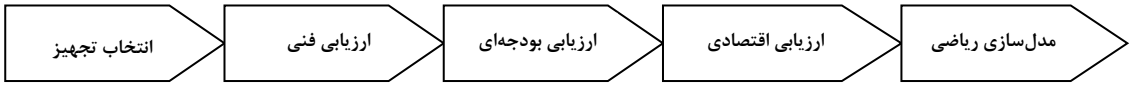
در این مرحله اتوبوس مورد نظر از منظر فنی به شرح زیر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد:

۳-۳ – ۱- شناسایی مجموعه و زیرمجموعه‌ها مؤثر در فرسودگی اتوبوس و تعیین میزان تأثیر آنها

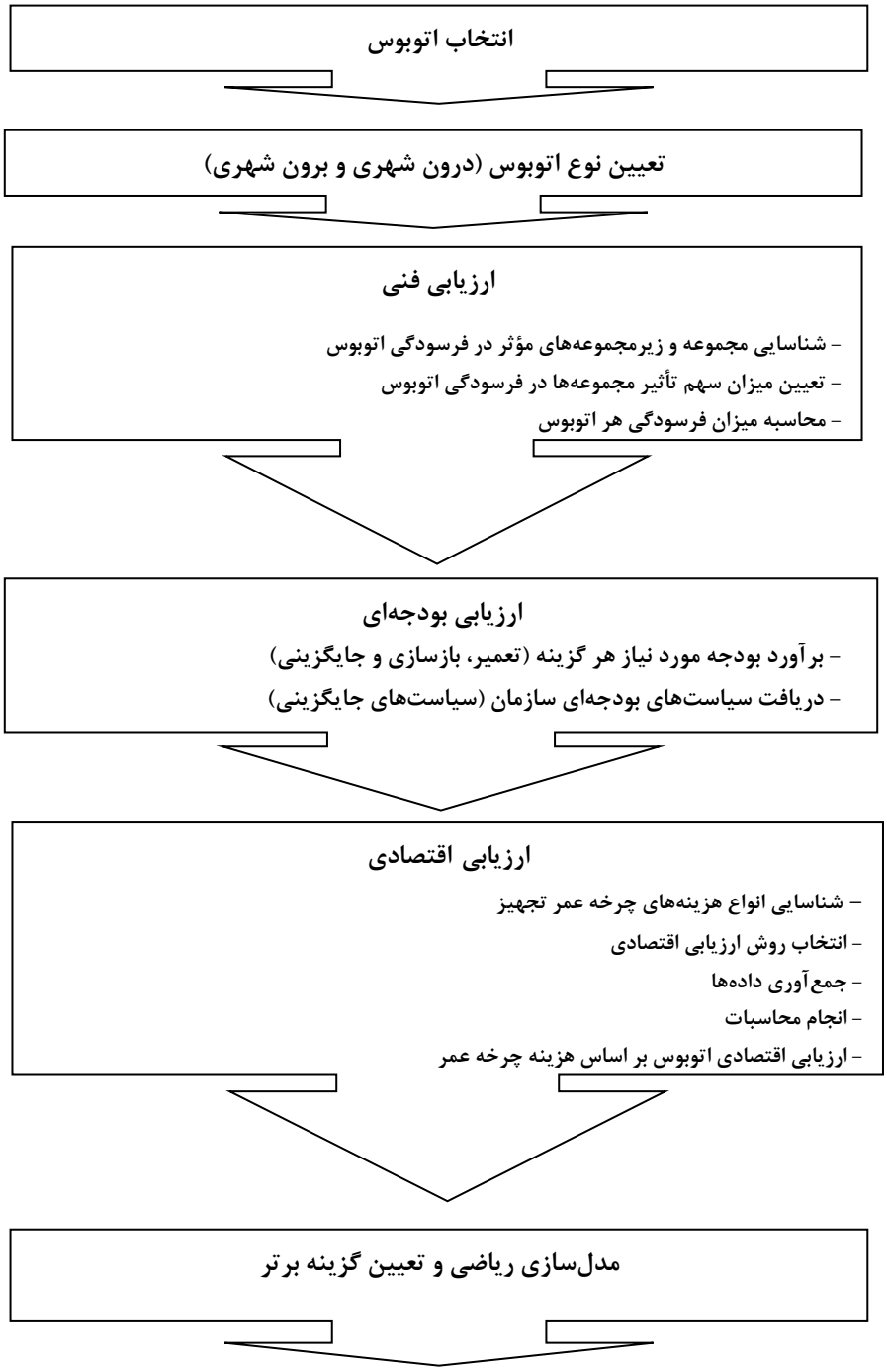
ابتدا با اخذ نظر خبرگان، هفت مجموعه اصلی مؤثر در تعیین میزان فرسودگی اتوبوس به شرح زیر شناسایی شد که برای هر مجموعه، زیرمجموعه‌هایی (جمعاً بیست زیرمجموعه) تعیین گردید (جدول۱). سپس برای تعیین میزان سهم تأثیر هر مجموعه و زیرمجموعه در فرسودگی اتوبوس، پرسش‌نامه‌ای تهیه و بین ۳۰ نفر خبرگان تعمیرات، بازسازی، ترابری و تعیین تکلیف سازمان توزیع شد.

در پرسش‌نامه مذکور، ابتدا پاسخ‌دهندگان میزان سهم تأثیر هر مجموعه در فرسودگی اتوبوس را از ۱۰۰ مشخص نموده، سپس میزان سهم تأثیر هر زیرمجموعه را بر اساس اهمیت به‌گونه‌ای تعیین نمودند که جمع هر مجموعه ۱۰۰ به‌دست آید.

پس از جمع‌آوری پاسخ‌ها، میانگین آنها محاسبه و در جدول (۱) مشخص شده است.



شکل (۱): الگوی کلی تصمیم‌گیری در مورد تجهیزات فرسوده سازمانی



شکل (۲): الگوی تصمیم‌گیری در مورد اتوبوس‌های فرسوده سازمانی

جدول (۱): فهرست مجموعه‌ها و زیرمجموعه‌های مؤثر در فرسودگی اتوبوس و میزان تأثیر هر کدام

ردیف	مجموعه	میزان سهم تأثیر در فرسودگی اتوبوس (از۱۰۰)	زیرمجموعه	میزان سهم تأثیر در فرسودگی اتوبوس (از ۱۰۰)
۱	اتاق	۲۱.۴	سقف	۶.۹
			بدنه	۱۴.۵
۲	تزئینات	۱۱.۰	صندلی و شیشه‌ها	۷.۶
			داشبورد	۳.۴
۳	برق	۹.۵	سیم‌کشی و آمپرها	۵.۳
			کولر و بخاری	۴.۲
۴	انتقال قدرت	۱۳.۰	گیربکس و کمک گیربکس	۷.۹
			کلاچ و ریتارد	۵.۱
۵	هدایت و کنترل	۹.۲	فرمان و چرخ‌ها	۵.۲
			کنترل هدایت	۴.۰
۶	شاسی و زیر بندی	۱۹.۲	شاسی	۷.۲
			اکسل جلو و دیفرانسیل	۴.۳
			اکسل عقب و دیفرانسیل	۴.۲
			کمک فنر ـ فنر	۳.۴
۷	نیروی محرکه	۱۶.۷	بلوک سیلندر	۴.۳
			سرسیلندر	۳.۴
			پمپ انژکتور و انژکتور	۲.۵
			برق موتور ـ استارت ـ دینام	۲.۷
			رادیاتور ـ واتر پمپ	۲.۲
			سیفونک هوا و دود	۱.۷

۳-۳- ۲- محاسبه میزان فرسودگی اتوبوس

برای هر اتوبوس که برای تعیین تکلیف از طرف رده استفاده کننده معرفی شده است، توسط خبرگان رده کاربر، اداره نگهداری و تعمیرات و مدیریت تعیین تکلیف فرم تعیین درصد فرسودگی تکمیل شده، میانگین وزنی این سه فرم محاسبه و به‌عنوان درصد فرسودگی اتوبوس در نظر گرفته می‌شود.

۳-۴- ارزیابی بودجه‌ای

در این مرحله با توجه به خروجی مرحله قبل، یعنی درصد فرسودگی نهایی و مجموعه‌های اتوبوس بودجه مورد نیاز گزینه‌ها به شرح زیر با اخذ نظر خبرگان برآورد می‌شود:

۳-۴- ۱- برآورد بودجه مورد نیاز هر گزینه

- **بودجه مورد نیاز تعمیرات**[1]: با توجه به درصد فرسودگی هر زیرمجموعه و مجموعه که در مرحله قبل تعیین شده است با نظر خبرگان بودجه مورد نیاز تعمیرات اتوبوس تخمین زده می‌شود. برای انجام این برآورد می‌توان از سوابق و مستندات تعمیرات اتوبوس‌ها استفاده نمود، که پس از انجام تعمیرات، اتوبوس دوباره در سازمان به‌کارگیری می‌شود.

- **بودجه مورد نیاز بازسازی**[2]: با توجه به درصد فرسودگی هر مجموعه که در مرحله قبل تعیین شده است با نظر خبرگان بودجه مورد نیاز بازسازی اتوبوس تخمین زده

1 -Repair Cost
2 - Overhaul Cost

می‌شود که پس از انجام بازسازی اتوبوس مجدد در سازمان به‌کارگیری می‌شود.

- **بودجه مورد نیاز جایگزینی[3]:** اگر میزان فرسودگی اتوبوس از حد تعیین شده بیشتر باشد، و ادامه به‌کارگیری آن به‌صرفه و صلاح سازمان نباشد، اتوبوس فرسوده فروخته و اتوبوس نو جایگزین می‌گردد. در این‌صورت، بودجه مورد نیاز از رابطه زیر حاصل می‌شود:

ارزش اسقاط اتوبوس فرسوده - قیمت اتوبوس نو = بودجه مورد نیاز جایگزینی

۳-۴- ۲-دریافت سیاست‌های بودجه‌ای و اعتباری سازمان (سیاست‌های جایگزینی)

در این مرحله با توجه به وضعیت اعتباری و بودجه تخصیصی جهت جایگزین نمودن اتوبوس، سیاست‌های مربوطه و سقف بودجه سالانه برای تعمیر، بازسازی و جایگزینی اتوبوس‌ها از مراجع ذی‌ربط اخذ می‌گردد.

برای جلوگیری از فرسودگی بیش ازحد ناوگان اتوبوس، سیاست‌های جایگزینی در قالب ضریب نوسازی ناوگان برای هر نوع اتوبوس (درون‌شهری و برون‌شهری) توسط مراجع ذی‌ربط مشخص می‌گردد. این ضریب که عددی بین صفر و یک است درصد نوسازی ناوگان (تعداد جایگزین نمودن اتوبوس در سال) را مشخص می‌نماید.

۳-۵- ارزیابی اقتصادی اتوبوس بر اساس هزینه‌های چرخه عمر(L.C.C)[4]

هزینه‌های خرید تجهیزات سرمایه‌ای در سازمان‌های نظامی بسیار بالاست، زیرا اول اینکه تعداد کالاها زیاد است و دوم اینکه برخی از آنها بسیار گران‌قیمت هستند. در نتیجه جایگزینی زودتر و یا دیرتر از موعد، هزینه‌های زیادی را به سازمان تحمیل می‌نماید.

۳-۵-۱- شناسایی انواع هزینه‌های چرخه عمر

در بحث هزینه چرخه عمر بسته به مدل مورد مطالعه هزینه‌های مختلفی مطرح است. در کتاب توسعه قابلیت اطمینان ماشین‌آلات، هزینه‌های چرخه عمر به‌صورت زیر دسته‌بندی شده‌اند[۱۴]:

- هزینه اکتساب
- هزینه‌های عملیاتی
- هزینه‌های نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده
- هزینه‌های نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی نشده
- هزینه مأموریت / غیر فعال‌سازی

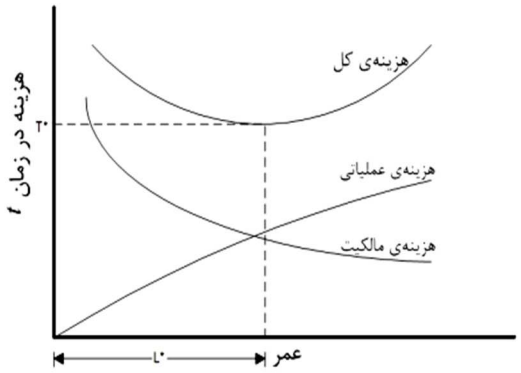
ازآنجایی‌که کلیه هزینه‌ها جهت تعیین LCC، باید به قیمت فعلی تبدیل شوند، لازم است زمان وقوع کلیه هزینه‌های آتی تخمین زده شود تا با استفاده از نرخ‌های تورم و تنزیل محاسبه شده در"تعریف پارامترها" به قیمت فعلی (قیمت روز) تبدیل شوند.

۳-۵- ۲- انتخاب روش ارزیابی اقتصادی (کمینه‌سازی هزینه‌ها)

با توجه به اهمیت مسائل اقتصادی، هزینه‌ها اصلی‌ترین عامل تصمیم‌گیری در مورد زمان تعویض تجهیزات می‌باشند. مدل‌های مختلفی در این رابطه ارائه شده است که دو هدف اصلی شامل کمینه‌سازی هزینه‌ها یا بیشینه‌سازی سود را دنبال می‌کنند. با توجه به شرایط تحقیق، مدل کمینه‌سازی هزینه‌ها انتخاب می‌گردد:

هدف این روش یافتن نقطه‌ای است که در آن مجموع هزینه‌های مالکیت و عملیاتی تجهیز موردنظر کمینه گردد.

شکل (۳) روند تغییرات هزینه، با افزایش عمر تجهیزات را نشان می‌دهد.



شکل(۳): نحوه تغییر هزینه‌ها با افزایش عمر تجهیز[۱۴]

3 - Replacement Cost
4- Life Cycle Costs

در این مدل، برای تصمیم‌گیری بهینه در خصوص فروش، جایگزینی و از رده خارج کردن تجهیزات، ابتدا باید هزینه‌های چرخه عمر شناسایی شوند. سپس هزینه‌ها باید به ارزش فعلی تبدیل شوند.

برای ارزیابی اقتصادی گزینه‌ها با استفاده از هزینه‌های چرخه عمر، هزینه‌های مورد مطالعه عبارت است از:

- هزینه گازوئیل
- هزینه روغن، سرویس و اجرت
- هزینه لاستیک و اجرت
- هزینه باطری و اجرت
- هزینه مواد و قطعات مصرفی
- هزینه و اجرت سایر تعمیرات

۳-۵-۴- محاسبه ارزش فعلی هزینه‌های چرخه عمر اتوبوس

هزینه چرخه عمر اتوبوس از مجموع هزینه اولیه (یکی از سه گزینه تعمیر، بازسازی یا فروش و جایگزینی)، نگهداری و تعمیرات و بهره‌برداری سالیانه و هزینه استهلاک سالیانه به‌دست می‌آید.

خروجی مرحله ارزیابی اقتصادی، ارزش فعلی هزینه چرخه عمر اتوبوس برای هریک از سه گزینه (تعمیر، بازسازی یا فروش و جایگزینی) خواهد بود.

۳-۶ – مدل‌سازی ریاضی

در این مرحله تابع ارزش فعلی هزینه‌های چرخه عمر اتوبوس در طول دوره عمر مشترک و با در نظر گرفتن محدودیت‌های سیستمی، به‌صورت یک برنامه‌ریزی ریاضی صفر و یک، مدل‌سازی می‌شوند.

مفروضات مدل

- برای هر اتوبوس ارزش فعلی کل هزینه‌های چرخه عمر در طول دوره عمر مشترک سه گزینه (تعمیر، بازسازی و جایگزینی) محاسبه و به‌عنوان پارامتر در تابع هدف وارد می‌شود.
- روی هر اتوبوس فرسوده فقط یکی از سه گزینه (تعمیر، بازسازی یا جایگزینی) انجام می‌شود.
- در حالت جایگزینی، اتوبوس فرسوده فروخته و یک اتوبوس جدید جایگزین می‌گردد.
- جهت انتخاب گزینه مناسب محدودیت بودجه در هر سال وجود دارد.
- ظرفیت بازسازی و تعمیر اتوبوس محدود می‌باشد.
- برای نوسازی ناوگان اتوبوس، ضریب حداقلی تعیین می‌گردد.

۳-۶ – ۱- پارامترها و متغیرهای مدل ریاضی

این مدل ریاضی شامل پارامترها، متغیرها، محدودیت‌ها و تابع هدف‌هایی است که در جداول (۲) تا (۴) معرفی می‌شوند.

جدول (۲): اندیس‌ها

i	اتوبوس i ام $i=1,,,n_k$
j	فعالیت j ام ۳و۲و1=j (تعمیر=۱و بازسازی=۲ و جایگزینی=۳)
k	اتوبوس نوع k ام ۲و۱=k (درون‌شهری =۱ و برون‌شهری =۲)

جدول (۳): پارامترهای مدل ریاضی

PW_{ijk}	ارزش فعلی کل هزینه‌های چرخه عمر اتوبوس در طول دوره عمر مشترک
C_{ijk}	هزینه انجام گزینه j روی اتوبوس i از نوع k
B	میزان بودجه در دسترس برای تصمیم‌گیری سه گزینه (تعمیر، بازسازی و جایگزینی)
R_k	ضریب نوسازی ناوگان برای اتوبوس نوع k و $0 \leq R_k \leq 1$
O_k	ظرفیت بازسازی اتوبوس از نوع k در سال
M_k	ظرفیت تعمیر اتوبوس از نوع k در سال

جدول (۴): متغیر تصمیم‌گیری مدل ریاضی

x_{ijk}	اگر روی اتوبوس i از نوع k فعالیت j انجام شود، برابر ۱ می‌شود، در غیر این‌صورت صفر(متغیر صفر و یک)

این مدل دارای تابع هدف کمینه نمودن ارزش فعلی کل هزینه‌های چرخه عمر اتوبوس در طول دوره عمر مشترک هر سه گزینه (تعمیر، بازسازی و جایگزینی)، به شرح زیر می‌باشد:

$$LCC = f(X) = MIN \sum_{i=1}^{n_k} \sum_{j=1}^{3} \sum_{k=1}^{2} PW_{ijk}.X_{ijk} \quad (1)$$

محدودیت‌های سیستمی به شرح زیر می‌باشد:

$$\sum_{i=1}^{n_k} \sum_{j=1}^{3} \sum_{k=1}^{2} C_{ijk}.X_{ijk} \leq B \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{n_k} X_{i3k} \geq [R_k * n_k] \quad ,k = 1,2 \quad \text{علامت منظور جزء صحیح است} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{n_k} X_{i2k} \leq O_k \quad ,k = 1,2 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{n_k} X_{i1k} \leq M_k \quad ,k = 1,2 \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{3} X_{ijk} = 1 \quad i = 1, \dots n_k \quad ,k = 1,2 \quad (6)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad (7)$$

محدودیت (۲) نشان‌دهنده میزان بودجه در دسترس برای انجام گزینه‌های تعمیر، بازسازی و جایگزینی می‌باشد. محدودیت (۳) نشان‌دهنده حداقل تعداد خرید اتوبوس جدید از نوع k در سال می‌باشد که با تعیین مقدار R_k بین صفر و یک توسط مراجع ذی‌ربط مشخص می‌شود. محدودیت (۴) نشان‌دهنده ظرفیت بازسازی اتوبوس از نوع k در سال می‌باشد. محدودیت (۵) نشان‌دهنده ظرفیت تعمیر اتوبوس از نوع k در سال می‌باشد. محدودیت(۶) نشان‌دهنده این است که در هرسال فقط یکی از سه گزینه (تعمیر، بازسازی یا جایگزینی) روی هر اتوبوس انجام می‌شود. محدودیت (۷) هم صفر و یک بودن متغیر تصمیم را نشان می‌دهد.

۳-۷- تعیین گزینه مناسب

با توجه به جواب به‌دست آمده از مدل ریاضی فوق، برای هر اتوبوس گزینه مناسب از میان سه گزینه تعمیر، بازسازی یا جایگزینی زیر انتخاب می‌شود.

۴- مدل تصمیم‌گیری مناسب تعمیر، بازسازی یا جایگزینی اتوبوس‌های فرسوده یک سازمان نظامی (مطالعه موردی)

برای مطالعه موردی اتوبوس‌های فرسوده یک سازمان نظامی که جهت تعیین تکلیف در سال ۱۳۹۲ اعلام گردیده انتخاب شد. تعداد اتوبوس‌های معرفی شده ۳۰ دستگاه شامل ۲۰ دستگاه برون‌شهری و ۱۰ دستگاه درون‌شهری بوده است. که اطلاعات آن در جدول (۵) بیان شده است.

۴-۱- ارزیابی فنی اتوبوس‌ها

با اخذ نظر سه مرجع و محاسبه میانگین موزون (رده مصرف‌کننده ۳۰ درصد، نگهداری و تعمیرات ۴۰ درصد و تعیین تکلیف ۳۰درصد) میزان فرسودگی نهایی اتوبوس تعیین می‌شود که نتیجه محاسبات در جدول (۵) بیان شده است.

جدول (۵): اطلاعات اتوبوس بلااستفاده و میزان فرسودگی اتوبوس‌ها

کد اتوبوس	نام خودرو	نوع اتوبوس	سال ساخت	میزان فرسودگی اتوبوس				میزان بودجه مورد نیاز (ارقام به میلیون ریال)		
				رده کاربر	نگهداری و تعمیرات	تعیین تکلیف	فرسودگی نهایی	تعمیر	بازسازی	جایگزینی
O_1	بنز ۳۰۲	برون شهری	۱۳۷۲	۶۰	۴۵	۵۰	۵۱	۱۰۲	۱۵۳	۳۸۰۰
O_2	بنز ۳۰۲	برون شهری	۱۳۶۶	۷۰	۶۵	۶۰	۶۵	۱۳۰	۱۹۵	۳۸۳۰
O_3	بنز ۳۰۲	برون شهری	۱۳۸۱	۶۲	۵۴	۵۶	۵۷	۱۱۴	۱۷۱	۳۸۲۰
O_4	بنز ۳۰۲	برون شهری	۱۳۷۰	۶۸	۵۴	۶۰	۶۰	۱۲۰	۱۸۰	۳۸۲۰
O_5	بنز ۳۰۲	برون شهری	۱۳۷۰	۶۸	۶۰	۵۲	۶۰	۱۲۰	۱۸۰	۳۸۲۰
O_6	بنز ۳۰۲	برون شهری	۱۳۶۳	۶۶	۶۶	۶۶	۶۶	۱۳۲	۱۹۸	۳۸۳۰
O_7	بنز ۳۰۲	برون شهری	۱۳۶۷	۶۰	۵۵	۶۰	۵۸	۱۱۶	۱۷۴	۳۸۲۰
O_8	بنز ۳۰۲	برون شهری	۱۳۸۱	۷۴	۷۰	۷۰	۷۱	۱۴۲	۲۱۳	۳۸۴۰
O_9	بنز ۳۰۲	برون شهری	۱۳۶۷	۷۰	۶۵	۶۶	۶۷	۱۳۴	۲۰۱	۳۸۳۰
O_{10}	بنز ۳۰۲	برون شهری	۱۳۷۲	۴۵	۳۰	۳۵	۳۶	۷۲	۱۰۸	۳۷۷۰
O_{11}	بنز ۳۰۲	برون شهری	۱۳۶۷	۷۰	۶۰	۶۰	۶۳	۱۲۶	۱۸۹	۳۸۳۰
O_{12}	بنز ۳۰۲	برون شهری	۱۳۶۵	۶۵	۵۶	۵۸	۵۹	۱۱۸	۱۷۷	۳۸۲۰
O_{13}	بنز ۳۰۲	برون شهری	۱۳۶۲	۷۵	۶۵	۶۵	۶۸	۱۳۶	۲۰۴	۳۸۴۰
O_{14}	بنز ۳۰۲	برون شهری	۱۳۶۱	۶۴	۵۸	۶۰	۶۰	۱۲۰	۱۸۰	۳۸۲۰
O_{15}	بنز ۳۰۲	برون شهری	۱۳۶۴	۷۵	۶۶	۶۵	۶۸	۱۳۶	۲۰۴	۳۸۴۰
O_{16}	بنز ۳۰۲	برون شهری	۱۳۷۱	۶۵	۶۲	۶۰	۶۲	۱۲۴	۱۸۶	۳۸۲۰
O_{17}	بنز ۳۰۲	برون شهری	۱۳۷۱	۷۰	۶۵	۶۰	۶۵	۱۳۰	۱۹۵	۳۸۳۰
O_{18}	بنز ۴۵۷	برون شهری	۱۳۶۴	۶۰	۳۰	۴۰	۴۲	۱۶۸	۲۵۲	۳۶۰۰
O_{19}	بنز ۴۵۷	برون شهری	۱۳۶۴	۵۰	۳۵	۴۰	۴۱	۱۶۴	۲۴۶	۳۶۰۰
O_{20}	بنز ۴۵۷	برون شهری	۱۳۶۵	۶۵	۳۰	۳۵	۴۲	۱۶۸	۲۵۲	۳۶۰۰
I_1	رهرو	درون شهری	۱۳۷۹	۷۰	۶۰	۶۰	۶۳	۱۰۲	۱۵۲	۲۷۰۰
I_2	رهرو	درون شهری	۱۳۷۸	۶۵	۵۵	۵۵	۵۸	۱۷۴	۲۶۱	۲۷۲۰
I_3	رهرو	درون شهری	۱۳۸۰	۷۰	۵۲	۵۵	۵۸	۱۷۴	۲۶۱	۲۷۲۰
I_4	رهرو	درون شهری	۱۳۸۲	۵۵	۴۰	۴۵	۴۶	۱۳۸	۲۰۷	۲۶۸۰
I_5	رهرو	درون شهری	۱۳۷۶	۶۵	۵۰	۵۵	۵۶	۱۶۸	۲۵۲	۲۷۱۰
I_6	رهرو	درون شهری	۱۳۸۲	۶۰	۵۰	۵۰	۵۳	۱۵۹	۲۳۸	۲۷۰۰
I_7	زرین خودرو	درون شهری	۱۳۸۱	۶۵	۵۵	۵۵	۵۸	۱۷۴	۲۶۱	۲۷۲۰
I_8	زرین خودرو	درون شهری	۱۳۸۰	۶۰	۳۰	۴۰	۴۲	۱۲۶	۱۸۹	۲۶۷۰
I_9	زرین خودرو	درون شهری	۱۳۸۲	۶۵	۵۴	۵۰	۵۶	۱۶۸	۲۵۲	۲۷۱۰
I_{10}	زرین خودرو	درون شهری	۱۳۸۰	۶۰	۳۵	۴۰	۴۴	۱۳۲	۱۹۸	۲۶۹۰

۴-۲- ارزیابی بودجه‌ای اتوبوس‌ها

با توجه به میزان فرسودگی زیرمجموعه برای هر اتوبوس، مجموعه‌ها و کل اتوبوس بودجه مورد نیاز برای تعمیر، بازسازی یا جایگزینی آن با نظر خبرگی برآورد می‌شود. برای تعیین بودجه مورد نیاز می‌توان از سوابق و اطلاعات تعمیر و بازسازی و نیز فروش اتوبوس‌های مشابه استفاده نمود.

بودجه مورد نیاز برای تعمیر، بازسازی یا جایگزینی ۳۰ دستگاه اتوبوس مورد مطالعه با نظر خبرگان در جدول ۵ برآورد شده است.

در خصوص جایگزینی اتوبوس جدید باید توجه داشت که اتوبوس‌های قدیمی (برای مثال بنز ۳۰۲) از رده خارج شده و اتوبوس‌های مدرن با قابلیت‌های جدید بر اساس جدول تجهیزات مصوب جایگزین خواهد شد.

۴-۳- ارزیابی اقتصادی

یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌های اقتصاد مهندسی روش "ارزش فعلی[1]" است. محاسبه ارزش فعلی یک فرایند مالی، تبدیل ارزش آینده کلیه دریافت‌ها و پرداخت‌ها (هزینه‌ها و درآمدها) به ارزش فعلی در زمان حال یا مبدأ پروژه می‌باشد[۳].

با توجه به اینکه عمر گزینه‌های مورد نظر یعنی تعمیر، بازسازی یا جایگزینی اتوبوس یکسان نمی‌باشند، لذا باید عمر مشترک یا کوچک‌ترین مضرب مشترک عمرها مبنای مقایسه قرار گیرد.

با اخذ نظر خبرگان عمر مفید برای اتوبوس بعد از انجام تعمیر به‌طور متوسط ۲ سال و برای بازسازی به‌طور متوسط ۴ سال و برای اتوبوس جدید ۸ سال برآورد شد.

هزینه چرخه عمر اتوبوس(LCC)=

هزینه استهلاک سالانه +هزینه نت و بهره‌برداری سالانه + هزینه اکتساب (۴-۱)

- در این رابطه هزینه اکتساب یا هزینه اولیه شامل هزینه اجرای هر گزینه تعمیر، بازسازی یا جایگزینی است که در مرحله ارزیابی بودجه‌ای برآورد شده است.
- هزینه عملیاتی شامل هزینه نت و بهره‌برداری سالانه می‌باشد. هزینه نت سالانه اتوبوس شامل هزینه تعمیرات و تعویض قطعات می‌باشد که برای دوره عمر مشترک (۸ سال) با نظر خبرگان تعیین می‌گردد.
- هزینه بهره‌برداری سالانه شامل هزینه سوخت، روغن و سایر مواد مصرفی می‌باشد که با نظر خبرگان تعیین می‌گردد.
- هزینه استهلاک سالانه اتوبوس از روش "خط مستقیم[2]" از رابطه زیر به‌دست می‌آید[۳]:

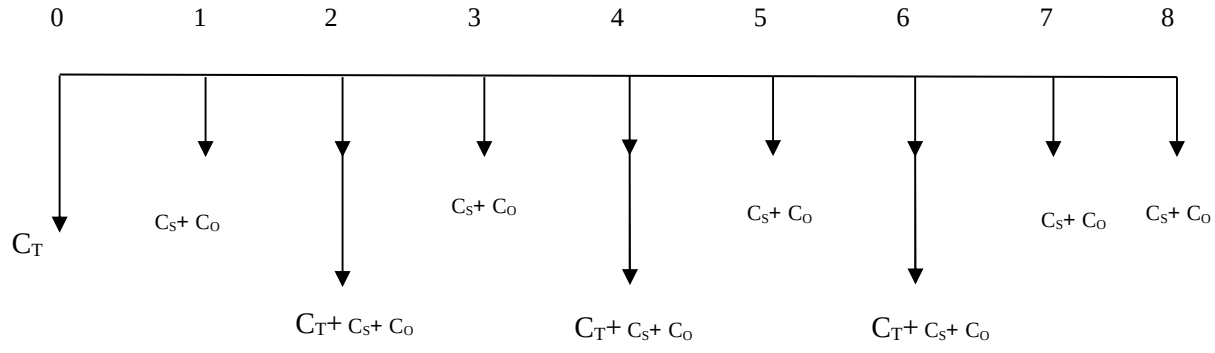
= هزینه استهلاک سالیانه

عمر استهلاک دارایی / (ارزش اسقاط دارایی- هزینه اولیه دارایی)

۴-۳-۱- تعیین ارزش فعلی هزینه چرخه عمر اتوبوس در حالت تعمیر شده

طبق رابطه (۴-۱) برای حالت تعمیر اتوبوس، ارزش فعلی هزینه‌های چرخه عمر به شرح زیر محاسبه می‌گردد:

نمودار (۱): فرایند مالی ارزش فعلی هزینه چرخه عمر اتوبوس در حالت تعمیر شده



5- Present Wroth (PW)
6 -Straight Line Method (SL)

$$(P/A,i,8)\,(P/A,i,8) + C_S\,(P/F,i,6) + C_O\,(P/F,i,4) + C_T\,(P/F,i,2) + C_T\;PW_T = C_T + C_T \quad (۲-۴)$$

جدول (۶): پارامترهای رابطه ارزش فعلی اتوبوس تعمیر شده

PW_T	ارزش فعلی کل هزینه‌های چرخه عمر اتوبوس در طول دوره عمر مشترک در حالت تعمیر شده
C_T	هزینه اولیه انجام گزینه تعمیر روی اتوبوس
C_O	هزینه نت و بهره‌برداری سالانه اتوبوس (مجموع هزینه نت و بهره‌برداری)
C_S	هزینه استهلاک سالانه اتوبوس
i	نرخ بازگشت سرمایه (در این تحقیق ۲۰٪ در نظر گرفته شده است)

جدول (۷): هزینه‌های سالانه نت و بهره‌برداری اتوبوس در حالت تعمیر شده (ارقام به میلیون ریال)

نوع هزینه/ نوع اتوبوس	درون شهری	برون‌شهری
نت سالانه	۱۹۰	۱۴۰
سوخت	۵۰	۷۵
روغن	۳۰	۶۰
سایر مواد مصرفی	۹۰	۷۵
جمع هزینه نت و بهره‌برداری	۳۶۰	۳۵۰

برای اتوبوس I1 محاسبات به شرح زیر می‌باشد:

هزینه بهره‌برداری سالانه اتوبوس بر اساس نظر خبرگان در جدول (۷) ارائه شده است.

با عددگذاری در رابطه (۴-۲) برای اتوبوس I1 داریم:

$$PW_T = C_T + C_T\,(P/F,٪۲۰,2) + C_T\,(P/F,٪۲۰,4) + C_T\,(P/F,٪۲۰,6) + C_O\,(P/A,٪۲۰,8) + C_S\,(P/A,٪۲۰,8)$$

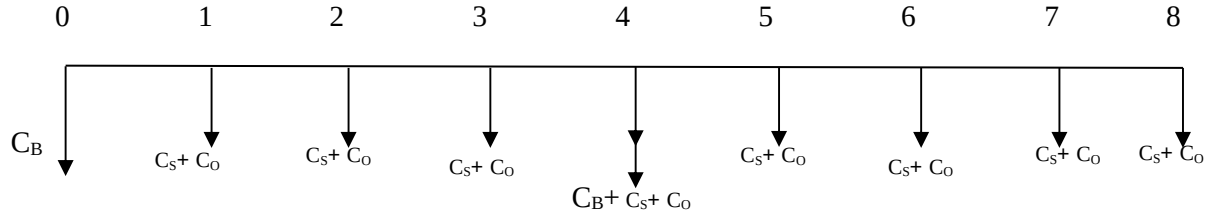
$$PW_T = 102+102(0.6944)+102(0.4823)+102(0.3349)+360(3.8372)+51(3.8372)$$

PW_T = ۱۸۳۳.۲۷ میلیون ریال

۴-۳-۲- تعیین ارزش فعلی هزینه چرخه عمر اتوبوس در حالت بازسازی‌شده

طبق رابطه (۴-۱) برای حالت بازسازی اتوبوس، ارزش فعلی هزینه‌های چرخه عمر به شرح زیر محاسبه می‌گردد.

نمودار (۲): فرایند مالی ارزش فعلی هزینه چرخه عمر اتوبوس در حالت بازسازی‌شده

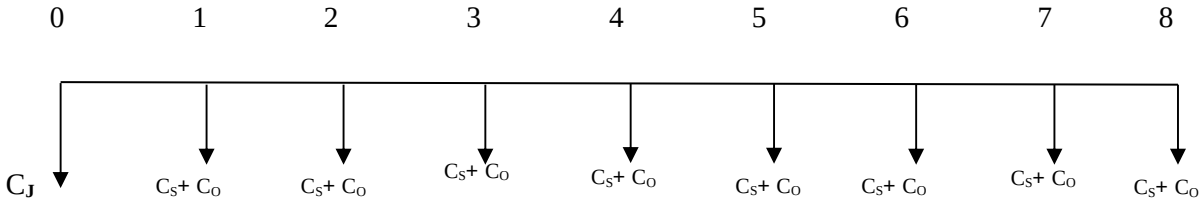


$$PW_B = C_B + C_B\,(P/F,i,4) + C_O\,(P/A,i,8) + C_S\,(P/A,i,8) \quad (۴-۳)$$

۴-۳-۳- تعیین ارزش فعلی هزینه چرخه عمر اتوبوس در حالت جایگزینی

طبق رابطه (۴-۱) برای حالت جایگزینی اتوبوس، ارزش فعلی هزینه‌های چرخه عمر به شرح زیر محاسبه می‌شود.

نمودار (۳): فرایند مالی ارزش فعلی هزینه چرخه عمر اتوبوس در حالت جایگزینی



$$PW_J = C_J + C_O\,(P/A,i,8) + C_S\,(P/A,i,8) \qquad (۴-۴)$$

۴-۴- حل عددی مدل ریاضی

در این مرحله داده‌های جمع‌آوری شده پس از انجام محاسبات لازم در مدل ریاضی وارد، حل شده و جواب مناسب به‌دست می‌آید.

۴-۴-۱- جمع‌آوری و پردازش داده‌ها

داده‌های جمع‌آوری شده پس از پردازش و محاسبه به‌عنوان پارامتر در مدل ریاضی قرار گرفت. هزینه انجام گزینه‌های سه‌گانه روی هر اتوبوس (تعمیر، بازسازی یا جایگزینی) مطابق جدول (۵) می‌باشد.

ارزش فعلی کل هزینه‌های چرخه عمر هر اتوبوس در دوره عمر مشترک گزینه‌های سه‌گانه برای هر نوع اتوبوس محاسبه و در تابع هدف وارد می‌شود.

میزان بودجه در دسترس برای تصمیم‌گیری سه گزینه:

میلیون ریال ۸۰۰۰۰ =B

۴-۴-۳- حل مدل با نرم‌افزار

مدل ریاضی این تحقیق دارای ۲۷۰ پارامتر عدد صحیح، ۹۰ متغیر صفر و یک و ۳۷ محدودیت می‌باشد. مدل توسط نرم‌افزار LINGO11 به‌طور دقیق حل شده است؛ که خروجی حل مسئله توسط نرم‌افزار در جدول (۹) ارائه شده است.

جدول (۸): پارامترهای مدل

ردیف	نوع اتوبوس	ظرفیت تعمیر سالانه M_k (دستگاه)	ظرفیت بازسازی سالانه O_k (دستگاه)	ضریب نوسازی ناوگان R_k
۱	درون شهری	۵۰	۳۰	۰.۳
۲	برون شهری	۱۵۰	۱۰۰	۰.۴

جدول (۹): گزینه‌های مناسب بر اساس جواب نرم‌افزار لینگو

کد اتوبوس	نوع اتوبوس	گزینه مناسب هر اتوبوس بر اساس جواب مدل ریاضی			توضیحات
		تعمیر	بازسازی	جایگزینی	
I_1	درون شهری		بازسازی		
I_2	درون شهری		بازسازی		
I_3	درون شهری		بازسازی		
I_4	درون شهری		بازسازی		
I_5	درون شهری			جایگزینی	
I_6	درون شهری			جایگزینی	

جدول (۹): گزینه‌های مناسب بر اساس جواب نرم‌افزار لینگو

کد اتوبوس	نوع اتوبوس	گزینه مناسب هر اتوبوس بر اساس جواب مدل ریاضی			توضیحات
		تعمیر	بازسازی	جایگزینی	
I_7	درون شهری		بازسازی		
I_8	درون شهری		بازسازی		
I_9	درون شهری			جایگزینی	
I_{10}	درون شهری		بازسازی		
O_1	برون شهری			جایگزینی	
O_2	برون شهری		بازسازی		
O_3	برون شهری		بازسازی		
O_4	برون شهری		بازسازی		
O_5	برون شهری		بازسازی		
O_6	برون شهری			جایگزینی	
O_7	برون شهری		بازسازی		
O_8	برون شهری		بازسازی		
O_9	برون شهری			جایگزینی	
O_{10}	برون شهری		بازسازی		
O_{11}	برون شهری		بازسازی		
O_{12}	برون شهری		بازسازی		
O_{13}	برون شهری		بازسازی		
O_{14}	برون شهری			جایگزینی	
O_{15}	برون شهری		بازسازی		
O_{16}	برون شهری			جایگزینی	
O_{17}	برون شهری		بازسازی		
O_{18}	برون شهری			جایگزینی	
O_{19}	برون شهری			جایگزینی	
O_{20}	برون شهری			جایگزینی	
جمع		**۰**	**۱۹**	**۱۱**	

با توجه به اینکه مدل پیشنهادی پیچیده نبوده و حجم مسئله نیز زیاد نمی‌باشد، نرم‌افزار لینگو مسئله را در زمان کمتر از ثانیه حل می‌نماید. با حل عددی مدل ریاضی در سازمان مورد مطالعه مشخص شد: گزینه بازسازی نسبت به دو گزینه دیگر بیشتر انتخاب شده است؛ یعنی با شرایط مسئله، ارزش فعلی هزینه‌های چرخه عمر اتوبوس بازسازی شده نسبت به دو گزینه دیگر کمتر است.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در مقالات زیادی با استفاده از هزینه چرخه عمر، عمر اقتصادی تجهیزات مختلف تعیین شده است ولی در این مقاله سعی شده است با به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری و روش‌های اقتصاد مهندسی که فهم و درک آن برای کاربران نیز آسان می‌باشد، مدلی طراحی شود که هم‌زمان سه نوع ارزیابی فنی، بودجه‌ای و اقتصادی را برای اتوبوس‌های سازمانی فرسوده انجام دهد. تا سازمان‌های

مختلف بتوانند با استفاده از آن یک نگرش علمی و کاربردی به تصمیم‌گیری‌های خـود داشـته و تصـمیم مناسـبی را در مورد تجهیزات فرسوده (به‌ویژه خودروهـا اعـم از سـنگین و سبک) اتخاذ نمایند.

قابل ذکر است که در تحقیقات آتی می‌توان از روش‌های تصمیم‌گیری دیگر مانند برنامه‌ریزی غیرخطی، تصمیم‌گیری چند معیاره با معیارهای اقتصادی، فنی، زیسـت‌محیطـی یـا بهبود فناوری و غیره برای سایر تجهیزات سرمایه‌ای استفاده نمود.

منابع

[۱] بیطرف، احمد؛ مردانی کرمانی، ابراهیم، "***ارائه مدلی برای تصمیم‌گیری کالاهای بلااستفاده***"، فصلنامه مدیریت زنجیره تأمین، شماره ۳۰،۶۸-۷۵، ۱۳۸۹.

[۲] کرباسی، "***ارائه چارچوبی اولیه جهت ارزیابی خودروها در یگان‌های نظامی بر مبنای شاخص بهره‌وری***"، پنجمین کنفرانس لجستیک و زنجیره تأمین، ۱۳۹۱.

[۳] محمدمهدی اسکونژاد، اقتصاد مهندسی یا ارزیابی اقتصادی پروژه‌های صنعتی، نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، پاییز ۱۳۹۲.

[4] Liang Zhang, Zhen Huang:" ***Life cycle study of coal-based ether as vehicle fuel for urban bus in China***", Energy 32, 1896-1904, (2007).

[5] David S.Kim, J. David Porter, Phillip Kriett, Wilson Mbugua, Tristan Wagner:" ***Fleet replacement modeling،Final Report ،SPR 670***", Oregon Department of Transportation Research Section July 2009.

[6] Sibylle Wursthorn, Silke Feifel, Wolfgang Walk, Andreas Patyk:" ***An environmental comparison of repair versus replacement in vehicle maintenance***", Transportation Research Part D 15, 356-361, (2010).

[7] Thomas W. Sloan:" ***Green renewal: incorporating environmental factors in equipment replacement decisions under technological change***", Journal of Cleaner Production 19, 173-186, (2011).

[8] Wei Feng, Miguel A. Figliozzi:" ***Conventional vs electric commercial vehicle fleets: A case study of economic and technological factors affecting the competitiveness of electric commercial vehicles in the USA***", Procedia - Social and Behavioral Sciences 39, 702-711, (2012).

[9] Radomir Mijailovi:" ***The optimal lifetime of passenger cars based on minimization of CO2*** ", Energy 55, 869-878, (2013).

[10] T.P. Khanh Nguyen, Thomas G. Yeung, Bruno Castanier:"***Optimal maintenance and replacement decisions under technological change with consideration of spareparts inventories***", Int. J. Production Economics143, 472-477, (2013).

[۱۱] ربانی، وزیری، "***تعیین سیاست‌های تعویض بهینه تجهیزات با احتساب ارزش زمانی پول***"، چهارمین همایش بهره‌وری در صنعت برق، ۱۳۸۲.

[۱۲] نخعی، حیدری، "***یک سیستم چند عاملی به‌منظور تعیین برنامه‌های تعویض، تعمیر و بازرسی تجهیزات***"، سومین کنفرانس ملی نت، ۱۳۸۴.

[۱۳] نخعی، حیدری، "***تصمیم‌گیری در مورد تعویض یا تعمیر اتوبوس‌های شهری***"، سومین کنفرانس ملی نت، ۱۳۸۴.

[۱۴] یوسفی طزرجان، رمضانی، "***بهینه‌سازی زمان جایگزینی و تعویض تجهیزات با استفاده از هزینه چرخه عمر***"، فصلنامه مدیریت زنجیره تأمین، سال سیزدهم، شماره ۳۴،۴-۱۷، ۱۳۹۰.

[۱۵] محمدبیگی و تنگستانی‌پور، "***برآورد طول عمر اقتصادی اتوبوس‌های درون شهری (مطالعه موردی اتوبوس‌های MAN شاغل در شرکت اتوبوس‌رانی تهران)***"، یازدهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران، ۱۳۹۱.