

بهینه‌سازی زمان جایگزینی و تعویض تجهیزات با استفاده از هزینه چرخه عمر

(مطالعه موردی: ناوگان اتوبوس‌رانی شرکت جوان سیر ایثار)

مصطفی یوسفی^۱، سعید رضانی^{۲*}، محسن طاهری^۳، عباس شریفی^۴

مرکز مطالعات و پژوهش‌های لجستیکی دانشگاه جامع امام حسین (ع)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۹/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۱۱/۹

چکیده

یکی از مسائل مهم در حوزه تصمیم‌گیری‌های لجستیکی سازمان، تعیین زمان بهینه استفاده از تجهیزات می‌باشد. مدیران سازمان برای اتخاذ تصمیم‌های مناسب باید بدانند که چه زمانی بهترین زمان برای تعویض یا جایگزینی یا خارج کردن تجهیزات از سازمان می‌باشد، به طوری که بیشترین منافع و کمترین هزینه را برای سازمان در بر داشته باشد. در این خصوص شناسایی هزینه‌های چرخه عمر و انجام محاسبات برای تعیین عمر بهینه استفاده از تجهیزات، ضروری است.

در این مقاله پژوهشی، ضمن معرفی روش هزینه چرخه عمر و محاسبات مربوط به تعیین عمر اقتصادی تجهیزات، نتایج اجرای مدل در شرکت جوان سیر ایثار برای اتوبوس‌های O500، ارائه می‌شود. توسعه این سیستم، علاوه بر ارائه تصمیم بهینه در خصوص زمان جایگزینی تجهیزات با توجه به عمر اقتصادی، پایه‌ای برای سایر تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در خصوص خرید تجهیزات جایگزین، مدیریت و ارزیابی عملکرد کاربران تجهیزات و تعمیرکاران نیز خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: هزینه چرخه عمر (L.C.C)^۵، عمر اقتصادی، جایگزینی تجهیزات، اقتصاد مهندسی، هزینه نگهداری و تعمیرات، ارزش اسقاط

۱- مقدمه

با توجه به محدودیت منابع، تخصیص بهینه منابع ضرورتی اساسی است و تخصیص بهینه منابع نیازمند توجه به عمر اقتصادی تجهیزات است. وجود یک سیستم تعیین عمر اقتصادی تجهیزات بر پایه هزینه‌های چرخه عمر موجب کاهش خطاهای انسانی و افزایش دقت، شفافیت و سرعت در تعیین عمر اقتصادی تجهیزات، کاهش هزینه‌ها و

ریسک تصمیم‌گیری و افزایش کارایی سازمان می‌شود. هدف از تدوین این مقاله ارائه مدلی برای تعیین تصمیم بهینه در خصوص خرید، جایگزینی و خروج از سازمان تجهیزات با استفاده از هزینه‌های چرخه عمر می‌باشد. در این خصوص شناسایی هزینه‌های چرخه عمر و انجام محاسبات برای تعیین عمر بهینه استفاده از تجهیزات ضروری است.

۲- هزینه چرخه عمر

هزینه چرخه عمر، اولین بار توسط وزارت دفاع آمریکا در سال ۱۹۶۰ مورد استفاده قرار گرفت. هدف هزینه چرخه عمر در آن زمان، کمک به وزارت دفاع در تهیه و تدارک تجهیزات نظامی بود.

در تعیین هزینه یک محصول یا خدمت خاص، مفهوم هزینه چرخه عمر به معنای آن است که به جای توجه صرف به مبلغ اولیه سرمایه گذاری شده در خرید و تهیه مواد اولیه، باید به محیط، اجتماع و هزینه‌ها و منافع اقتصادی که در طول عمر یک محصول یا خدمت رخ می‌دهد، توجه نمود.

۱- کارشناس معاونت پژوهشی دانشگاه جامع علمی کاربردی، کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، پست الکترونیکی: Yousofi@uast.ac.ir

۲- پژوهشگر مرکز مطالعات و پژوهش‌های لجستیکی، کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، نویسنده پاسخگو، پست الکترونیکی: Ramezani.sr@gmail.com، نشانی: تهران: شهرک قدس- خیابان هرمزان- خیابان پیروزان جنوبی- نبش خیابان پنجم- مرکز مطالعات و پژوهش‌های لجستیکی- کمیته نت

۳- مدیر کمیته نت مرکز مطالعات و پژوهش‌های لجستیکی، کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، پست الکترونیکی: taheri.mohsen@yahoo.com

۴- مدیر سیستم نت اداره نگهداری و تعمیرات مع آمد و پشتیبانی، کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت نت، پست الکترونیکی: abshmo2000@yahoo.co.uk

5- Life Cycle Costing

ج) محاسبه هزینه چرخه عمر به‌عنوان ابزاری برای بازاریابی محصولات صنعتی (براون)^۳ [۳].

د) تخمین عمر مفید موتورهای توربین گازی (لی و همکاران)^۴ [۴].

ه) تحلیل هزینه‌های اقتصادی آبگرمکن خورشیدی (کول و همکاران)^۵ [۵] و (فرایس و همکاران)^۶ [۶] و (تاسدمیروگلا)^۷ [۷].

و) مدیریت از رده خارج کردن کامپیوترها (اهلووالیا و همکاران)^۸ [۸].

ز) زمان بهینه جایگزینی یخچال‌های خانگی (کیم و همکاران)^۹ [۹].

ح) مقایسه برای انتخاب ماده شیمیایی مناسب از نظر هزینه چرخه عمر (سالیوان)^{۱۰} [۱۰]، سیستم‌های بیوالکتروشیمیایی (پانت و همکاران)^{۱۱} [۱۱].

همچنین روش‌های توسعه یافته‌ای نیز برای مدل هزینه چرخه عمر معرفی شده‌اند، از جمله:

ط) هزینه چرخه عمر ساده شده (کامبیک و همکاران)^{۱۲} [۱۲].

ی) ارزیابی هزینه چرخه عمر (کاتو و همکاران)^{۱۳} [۱۳] و (پیتراپرتوزا و همکاران)^{۱۴} [۱۴] و (ری مارتینز و همکاران)^{۱۵} [۱۵] و (سانسون و همکاران)^{۱۶} [۱۶].

ترکیب روش هزینه چرخه عمر با روش‌های ریاضی و هوشمند در مقالات مورد توجه قرار گرفته است که از جمله می‌توان به ترکیب آن با روش‌هایی چون موارد زیر اشاره کرد:

ک) بهینه‌سازی چند معیاره (اهلووالیا و همکاران) [۸] و ارزیابی چند معیاره (فلورس آلسینا و همکاران)^{۱۷} [۱۷].

ل) تحلیل حساسیت و تحلیل عدم قطعیت (آکیلونرس و همکاران)^{۱۸} [۱۸] و (کول و همکاران) [۵].

یکی از مهم‌ترین عوامل در تعیین عمر اقتصادی تجهیز، هزینه‌های ناشی از آن است. تا زمانی که جایگزینی تجهیز نو به صرفه نباشد، باید از تجهیز قبلی استفاده نمود. اما در هزینه‌های تجهیز نباید تنها به هزینه خرید آنها توجه نمود، بلکه باید هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم را در تمام چرخه عمر آن در نظر گرفت.

هزینه‌های نگهداری و تعمیرات و از رده خارج کردن و جایگزینی تجهیزات بسیار زیاد است و لذا سازمان باید به‌جای اینکه صرفاً هزینه‌های اولیه محصول را در تصمیم‌گیری‌های خود در نظر بگیرد، به هزینه‌هایی هم که در آینده در ارتباط با آن محصول روی خواهد داد، توجه کرده که از طریق پیش‌بینی و تخمین این نوع هزینه‌ها بتوانند تصمیمات صحیح‌تری اخذ کنند. همچنین سایر هزینه‌های جانبی تجهیزات در بعضی از سازمان‌های بزرگ بسیار زیاد است، زیرا اولاً تعداد کالاها زیاد است و ثانیاً برخی از آنها بسیار گران قیمت می‌باشند. در نتیجه جایگزینی زودتر و یا دیرتر از موعد، هزینه‌های زیادی را به سازمان تحمیل می‌کند.

در اغلب موارد با گذشت زمان و کارکرد تجهیزات، ارزش آنها کاسته شده، یا به‌عبارت دیگر، مستهلک می‌شوند. عوامل مؤثر در کاهش ارزش تجهیزات، به سه دسته قابل تقسیم هستند:

- الف) کاهش ارزش به‌دلیل فرسودگی و کهنه شدن؛
- ب) کاهش ارزش به‌دلیل تغییر خواسته‌ها از ماشین؛
- ج) کاهش ارزش به‌دلیل پیشرفت‌های فناوری.

باید به این نکته توجه شود که ممکن است شروع به‌کار یک تجهیز با هزینه اولیه کم اتفاق بیفتد ولی در طول کارکرد آن هزینه‌ها بسیار متفاوت باشد.

۳- کاربردها و مدل‌های هزینه‌های چرخه عمر

در مقالات، موارد زیادی از کاربرد هزینه‌های چرخه عمر در زمینه‌های مختلف و از مناظر گوناگون معرفی شده است. از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- الف) زمان مناسب برای بهبود و نوسازی جرثقیل‌ها (روزنفلد و همکاران)^۱ [۱].
- ب) ارزیابی گزینه‌های فروش، تعمیر و از رده خارج‌سازی (هامر و همکاران)^۲ [۲].

- 1- Rosenfeld et al
- 2- Hamer et al

- 3- Brown
- 4- Li et al
- 5- Coll et al
- 6- Fraisse et al
- 7- Tasdemiroglu
- 8- Ahluwalia et al
- 9- Kim et al
- 10- Sullivan
- 11- Pant et al
- 12- Kaebemick et al
- 13- Kato et al
- 14- Pietrapertosa et al
- 15- Rey Martínez et al
- 16- Sonesson et al
- 17- Flores-Alsina et al
- 18- Aquilonius et al

(م) آنالیز زنجیره ارزش (داهل استروم و همکاران)^۱ [۱۹].
 (ن) بهینه‌سازی و شبیه‌سازی (گاستافسون)^۲ [۲۰] و
 (هلیلا و همکاران)^۳ [۲۱].
 (س) سیستم خبره فازی (کامیناریس و همکاران)^۴ [۲۲].
 (ع) مدل‌های فازی (کسو و همکاران)^۵ [۲۳].
 (ف) الگوریتم ژنتیک (مونگو و همکاران)^۶ [۲۴].
 (ص) تحلیل آثار و حالات خرابی (رهی و همکاران)^۷ [۲۵] و
 (استمبر)^۸ [۲۶].
 (ق) روابط تخمین هزینه (استمپفل و میر)^۹ [۲۷].
 (ر) پیش‌بینی هزینه‌های چرخه عمر برای محصولات
 جدید (ویلسون)^{۱۰} [۲۸].
 (ش) در (وان نورتویجک)^{۱۱} فرمول‌های ساده برای محاسبه
 واریانس هزینه چرخه عمر تنزیل شده ارائه شده
 است [۲۹].

۳-۱- کاربردهای هزینه چرخه عمر در ایران

علیرضا آشتیانی، در پایان نامه کارشناسی ارشد خود
 "تعیین عمر اقتصادی سه مدل تراکتور کشاورزی در ایران
 (آشتیانی؛ مطالعه موردی شرکت زراعی دشت ناز
 مازندران)" را مورد بررسی قرار داده است [۳۰].
 عدلی و همکاران، طی مقاله‌ای به مطالعه عمر مفید
 کمپاین‌های متداول در منطقه مغان پرداخته‌اند [۳۱].
 همچنین مدرس یزدی و همکاران، "طراحی زنجیره تأمین
 مبتنی بر نوع و چرخه عمر محصول" را مورد مطالعه قرار
 داده‌اند [۳۲].

۳-۲- کاربردهای هزینه چرخه عمر در سیستم‌های نظامی

همان‌طور که بیان شد خواستگاه اصلی روش هزینه
 چرخه عمر، سیستم‌های نظامی بوده و منابع نظامی

متعددی، روش هزینه چرخه عمر را به‌کار گرفته‌اند.
 همچنین اقتصادی بودن بسیاری از تجهیزات که ماهیت
 غیرنظامی نیز دارند، اهمیت ویژه‌ای دارد.

از جمله این گزارش‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

(الف) گزارش AF 1800.2 وزارت دفاع آمریکا: تشریح
 هزینه‌های چرخه عمر تجهیزات هواپیمایی.

(ب) گزارش فنی وزارت دفاع آمریکا برای تصمیم‌گیری در
 خصوص انتخاب یکی از دو نوع پوشش حفاظتی [۳۳].

(ج) گزارش AIR-434 وزارت دفاع آمریکا: برنامه
 مدیریت دارایی‌های فیزیکی نیروی هوایی.

(د) گزارش LMI4C-5 وزارت دفاع آمریکا: استاندارد
 ثبت، مستندسازی و بروزرسانی هزینه‌های چرخه عمر
 تجهیزات نظامی [۳۴].

(ه) گزارش ER1125-2-306: محاسبات هزینه‌های
 مالکیت و هزینه‌های عملیاتی تجهیزات وزارت دفاع آمریکا.

۴- مدل‌های هزینه چرخه عمر

برای تعیین هزینه چرخه عمر تاکنون انواع مدل‌های
 ذهنی، مفهومی و تحلیلی ارائه شده‌اند که همه آنها را می‌توان
 در دو گروه اصلی تقسیم‌بندی نمود:

(الف) مدل‌های عمومی

(ب) مدل‌های خاص و معین. (غفاری، ۱۳۸۹) [۳۵].

مدل‌های عمومی به تجهیزات خاصی بستگی ندارند،
 ولی مدل‌های خاص آنهایی هستند که برای سیستم‌ها یا
 تجهیزات مشخصی تعریف شده‌اند. در یکی از مهم‌ترین
 مدل‌های عمومی هزینه‌ها از دو قسمت اصلی به‌نام
 هزینه‌های تکرار شونده و هزینه‌های غیر تکرار شونده^{۱۲}
 تشکیل می‌شوند.

$$LCC = C1 + C2$$

که در آن C1 هزینه‌های تکرار شونده و C2 هزینه‌های
 غیر تکرار شونده را نشان می‌دهد. [۳۶].

در مدل‌های نوع دوم یا خاص به تجهیزات و سیستم‌های
 مشخصی مانند الکتروموتورها، سیستم‌های مورد استفاده در
 هواپیماها و خودروها به‌ویژه وسایل نقلیه سنگین مورد

1- Dahlström et al
 2- Gustafsson
 3- Heilala et al
 4- Kaminaris et al
 5- Xu et al
 6- Monga et al
 7- Rhee et al
 8- Stember
 9- Stampfl et al
 10- Wilson
 11- Van Noortwijk

12- Steen

استفاده در صنایع معدنی یا اتوبوس‌ها پرداخته شده است. برای نمونه برای تحلیل هزینه چرخه عمر الکتروموتورها می‌توان از مدل زیر استفاده نمود:

$$LCC \text{ motor} = A + E + M$$

که در آن A هزینه خرید موتور، E هزینه انرژی مصرفی موتور و M هزینه نگهداری و تعمیرات آن می‌باشد؛ برای محاسبه E و M باید ارزش فعلی (P) هزینه‌های سالیانه را برای n سال محاسبه و مجموع آنها را در نظر گرفت [۳۷].

۵- انواع هزینه‌های چرخه عمر

در بحث هزینه چرخه عمر بسته به مدل مورد مطالعه هزینه‌های مختلفی مطرح است. مهم‌ترین دسته‌بندی از هزینه‌ها عبارت از: هزینه‌های تکرار شونده^۱ و هزینه‌های غیر تکرار شونده^۲ می‌باشد. هر کدام از این دو دسته به زیر شاخه‌هایی تقسیم می‌شوند که هزینه‌های مرتبط با نگهداری و تعمیرات جز هزینه‌های گروه اول یا تکرار شونده‌ها می‌باشند. در کتاب توسعه قابلیت اطمینان ماشین‌آلات، هزینه‌های چرخه عمر به صورت زیر دسته‌بندی شده‌اند:

۵-۱- هزینه اکتساب

الف) قیمت خرید
ب) هزینه‌های اجرایی / مهندسی
ج) هزینه نصب
د) هزینه آموزش
هـ) هزینه تبدیل
و) هزینه حمل و نقل
پس از اکتساب، تجهیز در فرآیند به‌کارگیری و به اصطلاح عملیاتی شدن قرار می‌گیرد. دسته دوم هزینه‌های چرخه عمر نیز، هزینه‌های عملیاتی می‌باشد. این هزینه‌ها عبارتند از:

۵-۲- هزینه‌های عملیاتی

الف) هزینه کارکنان مستقیم

- ب) هزینه مواد و تجهیزات جانبی
- ج) هزینه مواد و قطعات مصرفی
- د) هزینه کاربری نامناسب
- هـ) هزینه تولید از دست رفته
- و) قطعات یدکی نگهداری و تعمیرات

در طول دوره به‌کارگیری تجهیز باید برای نگهداری از آن برنامه‌ریزی نمود، لذا دسته سوم هزینه‌های چرخه عمر، هزینه نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده است. این هزینه‌ها عبارتند از:

۵-۳- هزینه نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده

الف) هزینه مواد و قطعات مصرفی
ب) هزینه کارکنان بخش نت
ج) هزینه کارکنان ثابت در زمان انجام PM^2
د) هزینه تولید از دست رفته به دلیل انجام PM
در طول دوره به‌کارگیری تجهیز ممکن است خرابی‌های برنامه‌ریزی نشده‌ای برای تجهیز پیش آید، لذا دسته چهارم هزینه‌های چرخه عمر، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی نشده است. این هزینه‌ها عبارتند از:

۵-۴- هزینه نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی نشده

الف) هزینه‌های کارکنان و مواد و قطعات مصرفی
ب) هزینه‌های از کارافتادگی‌های برنامه‌ریزی نشده
ج) سایر هزینه‌های CM/EM
همچنین به‌منظور آماده کردن تجهیز برای انجام مأموریت یا غیرفعال‌سازی آن، هزینه‌هایی به چرخه عمر تحمیل می‌شود، لذا دسته پنجم هزینه‌های چرخه عمر، هزینه مأموریت/غیرفعال‌سازی است. این هزینه‌ها عبارتند از:

۵-۵- هزینه‌های مأموریت/غیرفعال‌سازی

- الف) هزینه‌های مأموریت
- ب) هزینه‌های غیر فعال‌سازی
- ج) هزینه باز یافت
- د) هزینه‌های آماده‌سازی سایت

3- Prirate Maintenance

1- Recurring Cost
2- Non-Recurring Cost

ه) هزینه‌های اتلاف به دلیل عدم دسترسی به تجهیز اغلب تجهیزات در آغاز دوره بهره‌برداری، تابع توزیع عمری شبیه به توابع فوق نمایی داشته و پس از گذشت مدت زمانی، این تابع توزیع به نمایی منفی نزدیک شده و در دوره‌های آخر عمر به توابع وایبول و نرمال تمایل پیدا می‌کنند [۳۸].

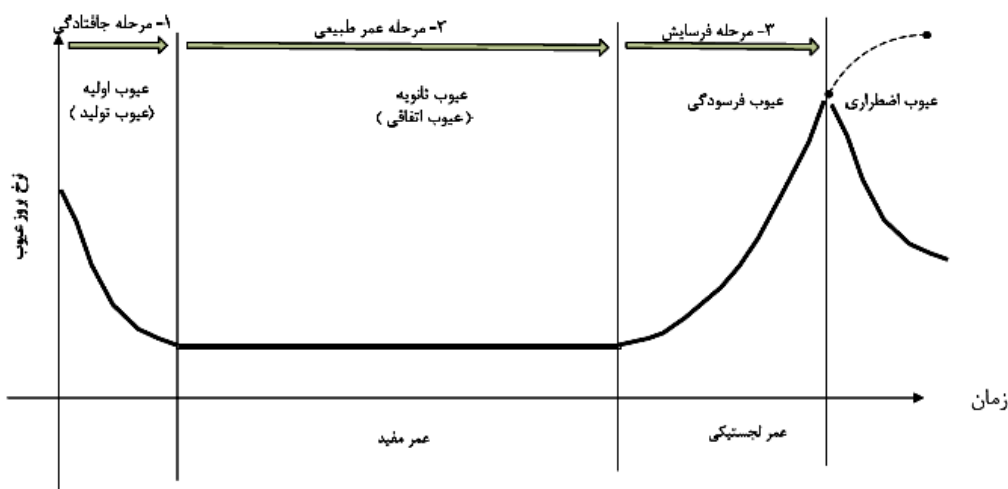
شکل (۱) نمودار منحنی بروز عیوب در چرخه عمر تجهیزات در شرایط محیطی استاندارد را نشان می‌دهد [۳۹].

۶- اقتصاد مهندسی

اقتصاد مهندسی، مجموعه تکنیک‌هایی است که فرآیند مقایسه بین گزینه‌های قابل انتخاب را بر پایه اصولی اقتصادی، ساده‌سازی می‌کند. اقتصاد مهندسی در واقع ابزاری برای انتخاب بهترین یا به عبارتی مقرون به صرفه‌ترین گزینه از میان گزینه‌های پیش روی مهندسیین

است. به عبارت دیگر، اقتصاد مهندسی، ابزار اصلی تصمیم‌گیری مهندسیین در پروژه‌هاست. در محاسبه هزینه چرخه عمر، 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.

گزینه‌های قابل انتخاب در امور مهندسی، معمولاً در بردارنده مواردی از قبیل هزینه خرید (هزینه اولیه)، عمر مفید پیش‌بینی شده، هزینه‌های سالانه نگهداری دارایی‌ها (هزینه‌های عملیاتی و نگهداری دارایی‌ها)، ارزش فروش مجدد پیش‌بینی شده (ارزش اسقاطی) و نرخ بهره می‌باشد. پس از جمع‌آوری آمار، ارقام و برآوردهای مربوطه، تحلیل اقتصادی- مهندسی می‌تواند راهنمای تعیین بهترین گزینه از دیدگاه علم اقتصاد باشد. [۴۰].



نوع توزیع	فوق نمایی	نمایی منفی	نرمال، وایبول
روند تغییرات سرعت لحظه ای خرابی	کاهش با گذشت زمان	ثابت با گذشت زمان	افزایش با گذشت زمان

شکل (۱): نمودار منحنی بروز عیوب در چرخه عمر تجهیزات در شرایط محیطی استاندارد

۶-۶- رابطه محاسبه میزان سری‌های مشابه با توجه به

ارزش فعلی

با استفاده از رابطه (۶) می‌توان مقادیر سری‌های مشابه را با توجه به ارزش فعلی محاسبه نمود:

$$A = P [i (1+i)^n] / ((1+i)^n - 1) \quad (۶)$$

۷- مدل‌سازی

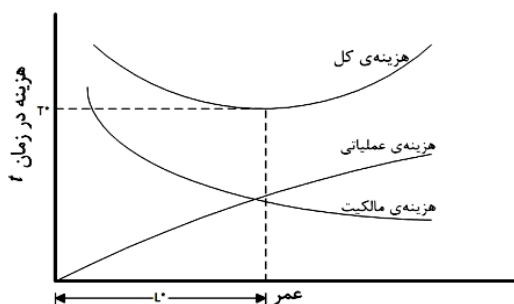
با توجه به اهمیت مسائل اقتصادی، هزینه‌ها اصلی‌ترین عامل در تصمیم‌گیری زمان تعویض تجهیزات می‌باشند. مدل‌های مختلفی در این رابطه ارائه شده است که براساس سه هدف متفاوت بنا نهاده شده‌اند و عبارتند از: کمینه‌سازی هزینه‌ها، بیشینه‌سازی سود و اعمال محدودیت برای هزینه‌های نگهداری و تعمیرات [۴۳].

۷-۱- کمینه‌سازی هزینه‌ها

هدف این روش یافتن نقطه‌ای است که در آن مجموع هزینه‌های مالکیت و عملیاتی تجهیز مورد نظر کمینه گردد. هزینه‌های ساعتی تجهیزات از (۷) قابل محاسبه است [۴۴]:

$$C_t = \frac{P_0 - S_t}{L_t} + OC_t \quad (۷)$$

که در این رابطه C_t بیانگر هزینه ساعتی تجهیز در زمان t ، P_0 قیمت خرید، S_t و L_t به ترتیب ارزش اسقاط و عمر تجهیز در زمان مورد نظر هستند. شکل (۲) روند تغییرات هزینه، با افزایش عمر تجهیزات را نشان می‌دهد.



شکل (۲): نحوه تغییر هزینه‌ها با افزایش عمر تجهیز

براساس این تئوری عمر مفید تجهیزات (L^*) معادل با زمانی از عمر آنها است که هزینه‌های کل کمینه می‌گردند (T^*). به این ترتیب می‌باید عملیات جایگزینی تجهیزات

فرمول‌ها و روابط مختلفی در اقتصاد مهندسی وجود دارند که ارزش زمانی سرمایه را در زمان‌های مختلف محاسبه می‌کند. اصلی‌ترین روابط محاسبات اقتصادی در هزینه چرخه عمر را می‌توان در شش رابطه زیر خلاصه نمود [۴۱ و ۴۲]:

۶-۱- محاسبه ارزش آینده^۱

برای محاسبه ارزش آینده از روی ارزش فعلی در دوره و با نرخ بهره مشخص از رابطه (۱) استفاده می‌شود:

$$F = P (1+i)^n \quad (۱)$$

در این رابطه P ارزش فعلی^۲، F ارزش آینده یا اصل، n تعداد دوره (عمر) و i نرخ بهره^۳ می‌باشد.

۶-۲- رابطه ارزش فعلی

ارزش فعلی از روی ارزش آینده در مدت دوره مشخص با نرخ بهره معین از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$P = F [1 / (1+i)^n] \quad (۲)$$

۶-۳- محاسبه ارزش آینده با سری‌های مشابه

محاسبه ارزش آینده یا F با استفاده از رابطه (۳) با توجه به سری‌های مشابه A (هزینه یا درآمد سالیانه) برای دوره n و نرخ بهره i انجام می‌شود:

$$F = [A (1+i)^n - 1] / i \quad (۳)$$

۶-۴- رابطه محاسبه مقادیر سری‌های مشابه با توجه به ارزش آینده

از رابطه (۴) برای محاسبه مقادیر سری‌های مشابه با توجه به ارزش آینده استفاده می‌شود:

$$A = F [i / (1+i)^n - 1] \quad (۴)$$

۶-۵- رابطه بین ارزش فعلی و سری‌های مشابه

با استفاده از رابطه (۵) از روی مقادیر سری‌های مشابه می‌توان مقدار ارزش فعلی معادل را محاسبه نمود:

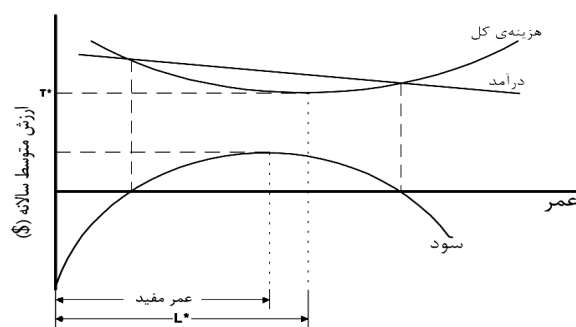
$$P = [A (1+i)^n - 1] / (i (1+i)^n) \quad (۵)$$

- 1- Future Value
- 2- Present Value
- 3- Interest rate

در این نقطه انجام گیرد تا از ایجاد روند افزایشی در هزینه‌ها جلوگیری به عمل آید.

۲-۷- بیشینه‌سازی سود

سود به صورت اختلاف مقادیر درآمدها و هزینه‌ها بیان می‌شود. از این رو در صورت ثابت نبودن مقادیر درآمد، کمینه‌سازی هزینه‌ها لزوماً به معنی بیشینه‌سازی سود نخواهد بود. در این روش سعی بر این است تا عمر بهینه تجهیزات براساس میزان سودآوری آنها بیان شده و نقطه عطف نمودار سود-عمر تجهیز به‌عنوان عمر بهینه دستگاه خواهد بود. شکل (۳).



شکل (۳): نحوه تغییر سود با افزایش عمر تجهیز

به‌منظور محاسبه سود می‌توان از رابطه (۸) استفاده کرد [۴۵]:

$$Pr_t = \frac{\sum_{i=0}^t R_i}{L_t} + C_t \quad (8)$$

که در این رابطه Pr_t سود در زمان t و R معرف درآمد است.

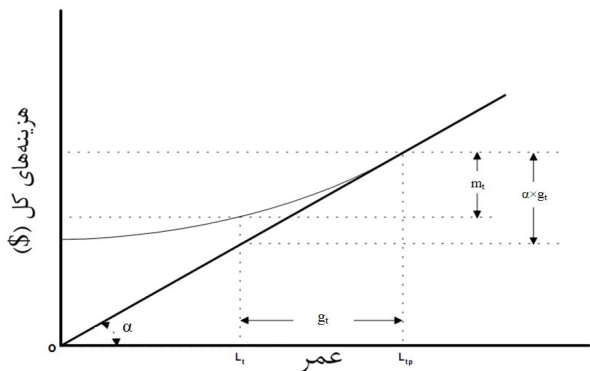
۳-۷- محدودسازی هزینه‌های نگهداری و تعمیرات

در این روش میزان بیشینه هزینه برای نگهداری و تعمیرات، تعیین شده و عمر مفید دستگاه تا جایی خواهد بود که هزینه‌های نت از مقدار مورد نظر تجاوز نکنند. مقدار مورد نظر به نوع و عمر دستگاه بستگی دارد، که از رابطه (۹) قابل محاسبه است [۴۶]:

$$RC_t = \alpha \times g_t - m_t \quad (9)$$

که در این رابطه RC نشانگر محدوده هزینه‌ی نت برای تعمیرات مورد نیاز پیش‌رو در زمان t ، α هزینه پیش‌بینی

شده سالانه برای نگهداری و تعمیرات تجهیز مورد نظر، g عمر باقی‌مانده تخمینی تجهیز در زمان t و m هزینه تخمینی نت آینده (به‌جز تعمیرات مورد نیاز حال حاضر) هستند. شکل (۴) نشانگر پارامترهای مورد نظر در قالب نمودار است.



شکل (۴): مدل محدودسازی هزینه‌های نگهداری و تعمیرات

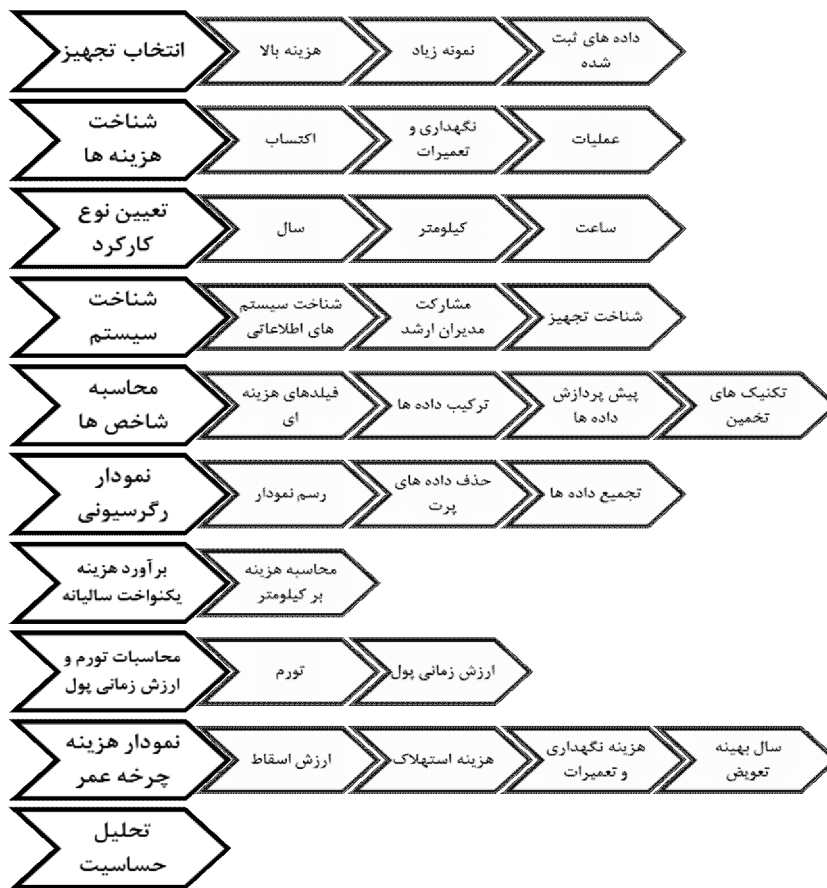
همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، در تمامی روش‌های فوق، به‌منظور دستیابی به زمان بهینه جایگزینی، نیاز است هزینه‌های نگهداری و تعمیرات با دقت قابل قبولی تخمین زده شود.

۸- مدل پیشنهادی برای پیاده‌سازی روش

در این مقاله مدل‌سازی مبتنی بر مدل کمینه‌سازی هزینه‌ها (LCC) انجام شده است و جزئیات مدل برای محاسبه عمر اقتصادی تجهیزات مورد مطالعه (اتوبوس‌های O500 شرکت حمل و نقل جوان‌سیر)، طراحی شده است.

در این مدل، برای تصمیم‌گیری بهینه در خصوص خرید، جایگزینی و از رده خارج کردن تجهیزات، ابتدا باید هزینه‌های چرخه عمر شناسایی شوند. سپس هزینه‌ها باید به ارزش فعلی، ارزش آتی یا ارزش یکنواخت سالیانه تبدیل شوند. در نهایت برای تصمیم‌های خرید از مقایسه ارزش فعلی (یا موارد دیگری که اشاره شد) و برای تصمیم‌های زمان جایگزینی و از رده خارج کردن تجهیزات از مقایسه ارزش یکنواخت سالیانه استفاده می‌شود.

در این خصوص جزئیات گام‌های اجرایی مدل، در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل (۵): گام‌های تصمیم‌گیری برای جایگزینی تجهیزات به روش LCC

۹- تکنیک‌های تخمین

در برخی از موارد نمی‌توان از روی داده‌های موجود فیلدهای مورد نظر را به صورت دقیق محاسبه کرد، در این موارد باید از تخمین‌های تا حد امکان دقیق استفاده شود. این تخمین‌ها با توجه به نوع مسئله قابل انجام است که در اینجا نمونه‌هایی از آن ذکر می‌شود. البته باید توجه داشت که زمانی از تخمین استفاده می‌شود که نتوان از داده‌های ثبت شده مقدار دقیق پارامترها را به دست آورد. برخی از این تکنیک‌ها عبارتند از:

۹-۱- محاسبه کیلومتر کارکرد با توجه به تاریخ تعویض

روغن

یکی از پارامترهای مهم در محاسبه عمر اقتصادی تجهیز، دانستن میزان کارکرد آن در طول دوره است. برای خودروها، کارکرد بر اساس کیلومتر می‌باشد. در صورتی که کیلومتر کارکرد ابتدا و انتهای دوره مشخص نباشد، می‌توان

از روی نزدیک‌ترین تاریخ به ابتدا و انتهای دوره که در آن کیلومتر کارکرد ثبت شده است، کیلومتر کارکرد را طبق رابطه (۱۰) برآورد کرد:

$$(K_e - K_s) * (T_e - T_s) / L \quad (10)$$

که در آن داریم:

K_e : کیلومتر کارکرد نزدیک‌ترین تاریخ به ابتدای دوره

K_s : کیلومتر کارکرد نزدیک‌ترین تاریخ به انتهای دوره

T_e : نزدیک‌ترین تاریخ به ابتدای دوره

T_s : نزدیک‌ترین تاریخ به انتهای دوره

L : طول دوره

۹-۲- تخمین ارزش اسقاط به روش خبرگی

ارزش اسقاط تجهیز نیز یکی از پارامترهای مؤثر در محاسبات مربوط به تصمیم‌گیری در خصوص خرید، جایگزینی و از رده خارج کردن تجهیزات است. ارزش

اسقاط یک تجهیز، ارزش واقعی فروش تجهیز در بازار است. اما گاهی اوقات بازار دستخوش تغییراتی می‌گردد، برای مثال اگر شرکت بزرگی مانند جوان‌سیر بخواهد تمام خودروهایی خود را از رده خارج نماید، قیمت بازار تغییر خواهد کرد.

گاهی اوقات نیز چون تجهیزاتی از آن نوع، با طول عمرهای مختلف فروخته نشده است، اطلاعاتی در خصوص ارزش اسقاط وجود ندارد. در این مواقع باید قیمت توسط چند خبره از حوزه‌های مختلف با روش‌هایی مانند روش دلفی تعیین شود.

۹-۳- تخمین هزینه تعمیرات اساسی به روش خبرگی
 هزینه‌های تعمیرات اساسی نیز یکی از پارامترهای مؤثر در محاسبات مربوط به تصمیم‌گیری در خصوص خرید، جایگزینی و از رده خارج کردن تجهیزات است. برای یک مطالعه دقیق باید از داده‌های تعمیراتی ثبت شده استفاده کرد. اما گاهی اوقات سابقه تعمیراتی در دست نیست و یا همه تجهیزات نو هستند و هنوز به تعمیرات اساسی نرسیده‌اند. در این مواقع باید با استفاده از خبرگی زمان‌های احتمالی خرابی‌های اساسی شناسایی و تابع توزیع احتمال آن تعیین شود. سپس هزینه تعمیرات مربوط به اجزای خراب، با توجه به نرخ واقعی آن، استخراج و با استفاده از توزیع محاسبه شده، پارامترهای مربوطه در مدل هزینه چرخه عمر، اعمال می‌گردند.

۱۰- نتایج و تحلیل‌ها

۱۰-۱- انتخاب تجهیز

شرکت "جوان‌سیر ایثار" بزرگترین شرکت حمل و نقل داخلی و بین‌المللی در ایران است که بیش از ۴۰ شعبه در کشور دارد. سهام این شرکت متعلق به یکی از سازمان‌های نظامی کشور می‌باشد که علاوه بر رفع نیاز سازمان مربوطه، با بسیاری سازمان‌ها و ارگان‌ها، قرارداد همکاری دارد. این شرکت در سال ۱۳۸۰ تاسیس شده و در زمینه حمل و نقل داخلی و بین‌المللی مسافر، خدمات مسافرت هوایی، سیاحتی، زیارتی و جهانگردی فعالیت می‌کند.

برای اجرای مدل، اتوبوس O500 شرکت جوان‌سیر ایثار به دلایل زیر انتخاب شد:

الف) به دلیل استفاده مناسب شرکت جوان‌سیر از سیستم‌های مالی و مدیریتی، داده‌های ثبت شده به نسبت دقیقی از کارکرد و هزینه‌های اتوبوس‌ها به تفکیک پلاک، وجود دارد.

ب) هر اتوبوس حدود ۲ هزار میلیارد ریال هزینه اکتساب (خرید و آماده‌سازی) دارد و در سال‌های به‌کارگیری، هزینه به نسبت زیادی صرف نگهداری آن می‌شود. همچنین سالانه حدود ۱۵ درصد از ارزش آن کاسته می‌شود. با توجه به مالکیت بیش از ۵۰۰ اتوبوس، مجموع هزینه‌های اکتساب و نگهداری قابل ملاحظه خواهد بود.

ج) اطلاعات تمامی اتوبوس‌ها در اختیار دفتر مرکزی بوده، لذا تعداد نمونه مناسب با داده‌های نسبتاً دقیق، در اختیار می‌باشد.

د) اتوبوس‌ها در ناوگان حمل و نقل عمومی به‌طور مستمر در حال استفاده هستند.

ه) با توجه به غیرنظامی بودن اتوبوس‌ها و قابلیت استفاده آن در خارج از سازمان، قابلیت فروش و جایگزینی برای آنها متصور است. این اتوبوس‌ها، قابل فروش به افراد، شرکت‌های داخل کشور و حتی کشورهای همسایه نیز می‌باشند.

۱۰-۲- شناخت هزینه‌ها و جمع‌آوری داده‌ها

برای اجرای مدل بهینه‌سازی تصمیمات با استفاده از هزینه چرخه عمر ابتدا باید هزینه‌های چرخه عمر شناسایی شوند. برای به‌دست آوردن مقدار این هزینه‌ها باید داده‌های ثبت شده در سیستم‌های اطلاعاتی بررسی و استفاده شوند. اگر هزینه‌هایی وجود داشته باشد که داده‌های آن ثبت نشده باشد، باید با روش‌هایی آنها را تخمین زد، اما از آنجا که هر تخمینی دارای خطا است، حتی‌الامکان باید از داده‌های موجود استفاده کرد، چه آنهایی که کامپیوتری هستند و چه آنهایی که به‌طور دستی در پرونده‌ها ثبت شده‌اند. این سیستم‌ها می‌توانند سیستم‌های دقیقی مانند سیستم حسابداری کامپیوتری تحت شبکه که اطلاعات دقیق و به‌روزی را دارد و یا سیستم‌های ثبت داده‌ها در فایل‌های

Excel و Acces و یا حتی پرونده‌های ثبت دستی داده‌ها مانند پرونده‌های تعمیراتی باشند.

۱۰-۳- تعیین نوع کارکرد

در مدل عمومی هزینه چرخه عمر، محاسبات بر حسب سال انجام می‌شود، اما در برخی از تجهیزات، کارکرد تجهیز در سال‌های مختلف و در نمونه‌های متعدد، متفاوت است. در این موارد هزینه‌های چرخه عمر از میزان کارکرد تأثیر می‌پذیرند. برای مثال در خودروها کیلومتر کارکرد ملاک مؤثرتری نسبت به سال استفاده از خودرو است. در نتیجه هزینه‌ها باید برحسب کیلومتر کارکرد، محاسبه شوند و محاسبات عمومی هزینه چرخه عمر، متوسط کارکرد سالانه به‌صورت معادل لحاظ شود. نوع کارکرد در خودروها، کیلومتر و در برخی از وسایل ساعت کارکرد، تعداد تولید، تعداد روشن و خاموش شدن و ... می‌باشد.

برای اتوبوس شاخص کارکردی مناسب کیلومتر کارکرد است. لذا علاوه بر هزینه‌های سالانه هر اتوبوس باید کیلومتر کارکرد آن سال نیز مشخص باشد و در فرمول‌های مربوطه قرار گیرد.

در شرکت جوان‌سیر، سیستم‌های زیر برای داده‌های هزینه‌های چرخه عمر شناسایی شد.

(الف) داده‌های تعمیرگاه (ثبت فعالیت‌های نت)

(ب) داده‌های پرونده‌های تعمیراتی

(ج) داده‌های حسابداری (بخش مالی)

(د) داده‌های کیلومتر کارکرد (بخش فنی و امور شعب)

برای محاسبه هزینه‌ها باید هزینه هر اتوبوس در هر سال مشخص باشد. با توجه به نو بودن ناوگان جوان‌سیر و وجود داده‌های مناسب در ۱۸ ماه اخیر به‌جای محاسبه سالانه از سه دوره شش ماهه، استفاده شد و پس از محاسبه هزینه‌های شش ماهه، متناظر سالانه آن در فرمول‌های اصلی قرار می‌گیرد. بر این اساس داده‌های مورد مطالعه به بازه‌های زیر تقسیم شد.

(الف) فروردین تا شهریور ۸۸

(ب) مهر تا اسفند ۸۸

(ج) فروردین تا شهریور ۸۹

۱۰-۴- بررسی سیستم‌های اطلاعاتی

شناخت سیستم‌های اطلاعاتی مورد استفاده در مجموعه مورد تحقیق بسیار مهم است، زیرا گاهی ممکن است از سیستم‌هایی که به‌طور مستقیم با موضوع مرتبط نیستند یا به نظر نمی‌رسند، وجود داشته باشند، می‌توان اطلاعات مناسب و قابل استفاده‌ای به‌دست آورد. در این خصوص کلیه سیستم‌های مرتبط با مسائل مالی سازمان و سیستم‌های نظارتی باید شناسایی شوند. خصوصاً سیستم‌های حسابداری، که در صورت وجود، داده‌های دقیق و با جزئیات کامل را ثبت کرده‌اند.

۱۰-۵- تعیین شاخص‌های هزینه‌ای و سایر شاخص‌های

مورد مطالعه

برای محاسبه زمان مناسب برای جایگزینی تجهیزات با استفاده از هزینه‌های چرخه عمر، نیاز به هزینه‌های ثابت نیست و می‌توان برای سادگی سیستم از آنها صرف‌نظر نمود. هزینه‌های مورد مطالعه عبارت است از:

(الف) هزینه گازوئیل

(ب) هزینه روغن، سرویس و اجرت

(ج) هزینه لاستیک و اجرت

(د) هزینه باطری و اجرت

(هـ) هزینه مواد و قطعات مصرفی

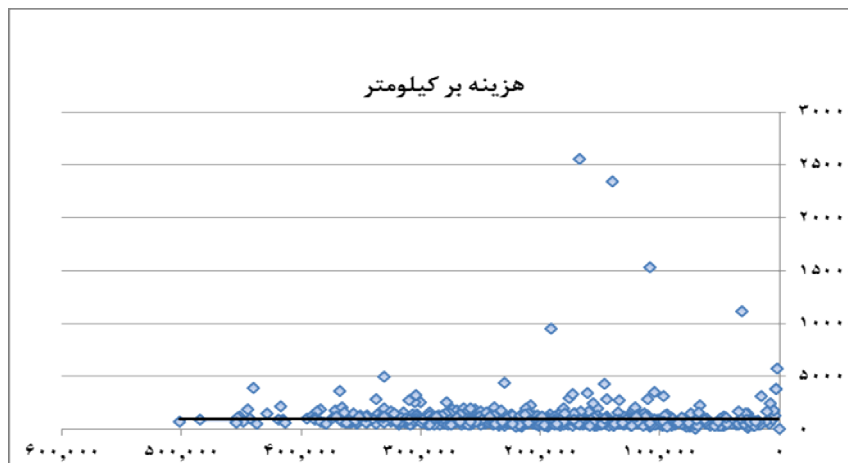
(و) هزینه و اجرت سایر تعمیرات

با توجه به انتخاب کیلومتر کارکرد به‌عنوان شاخص محاسباتی، تمام هزینه‌ها باید بر حسب آن به‌دست آیند. از مجموع هزینه‌ها و تقسیم آنها بر کیلومتر کارکرد اتوبوس‌ها، شاخص‌های زیر محاسبه می‌شود:

(الف) متوسط کیلومتر طی شده در دوره برای هر اتوبوس

(ب) مجموع هزینه‌های هر اتوبوس در هر دوره

(ج) هزینه بر کیلومتر در هر دوره برای هر اتوبوس

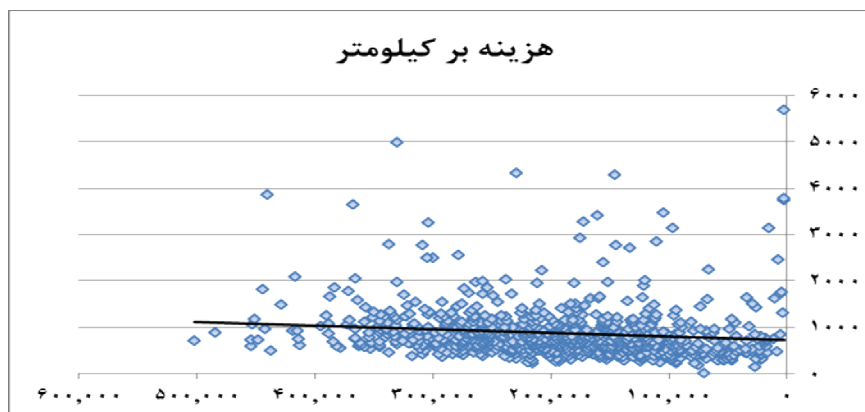


شکل (۶): نمودار هزینه بر کیلومتر برای همه داده‌ها

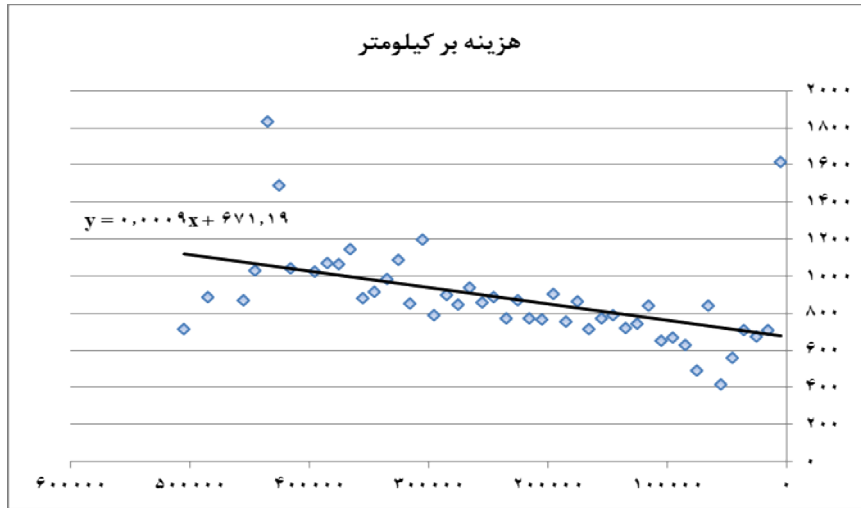
(۷)، پس از اعمال روش‌های اصلاح یا حذف داده، به دست آمده است.

باید توجه داشت که حذف بیش از حد داده‌ها، باعث تغییر "رند صحیح" می‌شود و مجاز نیست. (در اینجا از ۸۲۸ رکورد، تنها ۶ رکورد حذف شد). روش دیگری که برای رفع خطای ناشی از داده‌های پرت وجود دارد، روش تجمیع است. در این حالت مجموعه داده‌ها به تعدادی بازه یکسان تقسیم می‌شوند و در هر بازه میانگین داده‌ها محاسبه می‌شود. در این روش داده‌های پرت توسط بقیه داده‌ها تعدیل می‌شوند. شکل (۸) این نمودار را نشان می‌دهد. در این بخش از تحقیق، بازه‌های ۵۰ هزار کیلومتری در نظر گرفته شده و از کل داده‌ها در هر بازه میانگین گرفته شده است. در مجموع حدود ۴۵ نقطه به دست می‌آید.

همان‌طور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود به علت وجود داده‌های پرت، خط رگرسیونی، حالت افقی دارد. در این‌جا داده‌های پرت باعث افقی شدن خط رگرسیونی شده‌اند، اما اگر داده‌های پرت وجود نداشت و خط رگرسیونی افقی بود، نشان دهنده این بود که کارکرد تجهیز موجب افزایش هزینه آن نمی‌شود. در چنین حالتی (به فرض وجود)، استفاده از تجهیز تا زمان از کارافتادگی آن مقرون به صرفه است، لذا تا زمانی که آن تجهیز بتواند مأموریت خود را انجام دهد، باید از آن استفاده نمود. بنابراین باید نقاط پرت به دقت شناسایی شوند و مورد بررسی قرار گیرند. برای برطرف کردن خطای ناشی از نقاط پرت و اصلاح داده‌های نادرست از دو تکنیک حذف و تجمیع استفاده شد. شکل



شکل (۷): نمودار هزینه بر کیلومتر بعد از حذف داده‌های پرت



شکل (۸): نمودار هزینه بر کیلومتر برای میانگین تجمیع داده‌ها در هر بازه

۶-۱۰- بر آورد هزینه سالیانه

برای بر آورد هزینه سالیانه باید با محاسبه خط رگرسیونی، رابطه خطی بین هزینه بر کیلومتر و متوسط کیلومتر طی شده به دست آید. این کار با نرم‌افزارهای مختلفی قابل انجام است که در این پژوهش از نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. جدول (۱) ضرایب و مقادیر ثابت را برای انواع حالات، نشان می‌دهد. رابطه رگرسیونی (۱۱) عبارت است از:

$$Y=aX+b \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

جدول (۱): ضرایب و مقادیر ثابت خط رگرسیونی برای حالات مختلف

$y=ax+b$	ضریب (a)	مقدار ثابت (b)
همه داده‌ها	۰,۱۴۶	۹۳۸,۹۴۴
	۰,۳۲۴	۴۵۳,۱۸
	۰,۳۶۴	۷۵۱,۲۶
مرحله ۱ (حذف ۲ رکورد)	۰,۱۳	۹۴۳,۱۳۴
	۰,۳۱۷	۴۵۵,۲۸۲
	۰,۳۵۱	۷۵۴,۶۸۹
مرحله ۲ (حذف ۵ رکورد)	۰,۷۷۶	۷۳۰,۴۳۳
	۰,۸۸۹	۲۶۴,۹۱۷
	۰,۹۳۵	۵۵۹,۲۵۷
مرحله ۳ (حذف ۶ رکورد)	۰,۷۸۱	۷۱۸,۹۸۱
	۰,۸۹	۲۶۴,۶۱۸
	۰,۹۳۶	۵۵۸,۸۱۶
تجمیع داده‌ها در بازه‌های مشخص	۰,۸۸۶	۶۷۱,۱۸۶
	۱,۰۱۵	۲۲۷,۸۲۸
	۱,۰۷۷	۴۹۳,۳۱۳

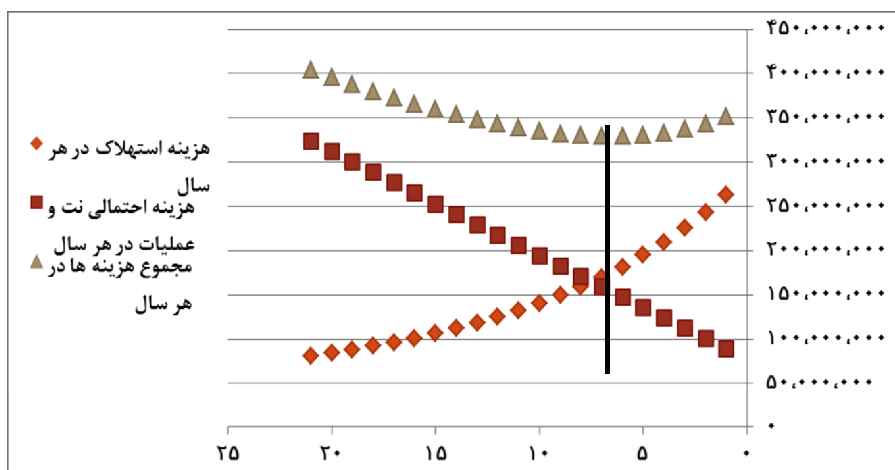
۷-۱۰- محاسبه هزینه یکنواخت سالیانه

هزینه یکنواخت سالیانه از محاسبه هزینه نگهداری و تعمیرات سالیانه و محاسبه هزینه استهلاک سالیانه به دست می‌آید. با دانستن ارزش اسقاط اتوبوس یعنی مبلغی که از فروش اتوبوس پس از n سال کارکرد به دست می‌آید و کم کردن آن از مبلغ اتوبوس نو در همان سال و تقسیم بر تعداد سال‌هایی که از اتوبوس استفاده شده است، هزینه استهلاک آن به دست می‌آید. این موضوع در رابطه (۱۲) بیان شده است:

$$\text{هزینه استهلاک} = (\text{ارزش اسقاط در سال } n - \text{مبلغ اتوبوس نو در سال } n) / n \quad (۱۲)$$

با دانستن متوسط کیلومتر کارکرد اتوبوس‌ها در هر سال یا کیلومتر کارکرد برنامه‌ریزی شده برای اتوبوس‌ها و استفاده از ضرایب و مقادیر ثابت خط رگرسیونی (a, b) ، که در بالا اشاره شد، می‌توان هزینه نگهداری و تعمیرات را در هر سال به دست آورد. مجموع هزینه‌ها نیز از جمع هزینه استهلاک و هزینه نگهداری و تعمیرات سالیانه به دست می‌آید.

پس از انجام محاسبات، با یافتن سالی که مجموع هزینه‌های یکنواخت سالیانه در آن کمینه (مینیمم) است، سال بهینه برای جایگزینی تجهیز به دست می‌آید. به عبارت دیگر نقطه بهینه جایگزینی تجهیزات زمانی است عمر اقتصادی آنها به پایان رسیده باشد. عمر اقتصادی چنانچه در شکل (۹) نشان داده شده است، در محل مینیمم مجموع



شکل (۹): نمودار زمان بهینه جایگزینی

هر چه جایگزینی پس از سال هفتم به تأخیر بیفتد هزینه‌های بیشتری به صورت تصاعدی برای سازمان به همراه دارد. در تخمینی از هزینه‌های خواب و پیش‌بینی خرابی‌های سال‌های پس از عمر ۷ ساله اتوبوس‌ها، به این نتیجه می‌رسیم که، تأخیر ۴ ساله در جایگزینی، هزینه سالانه بیش از ۱۵ میلیون ریال برای هر اتوبوس را در بر خواهد داشت. اگر فرض کنیم اتوبوس‌ها در پایان سال یازدهم جایگزین شوند، برای ۳۰۰ اتوبوس در طول عمر آنها حدود ۵۰ میلیارد ریال هزینه اضافی، خرج شده است. این مبلغ مقدار صرفه‌جویی حاصله از اتخاذ تصمیم صحیح را نشان می‌دهد. این مقدار صرفه‌جویی، معادل ۸ درصد ارزش ریالی، کل ۳۰۰ دستگاه اتوبوس خواهد بود.

۱۱- نتیجه‌گیری

شناخت مدیران نسبت به عمر اقتصادی تجهیز و هزینه چرخه عمر از طریق تمرکز بر روی هزینه‌های به‌کارگیری بلند مدت تجهیزات، علاوه بر اعمال مدیریت صحیح هزینه‌ها می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای تفکر و تصمیم‌گیری، مورد استفاده قرار گیرد. مدل هزینه چرخه عمر (LCC)، کل هزینه‌های دوره عمر یک تجهیز را محاسبه می‌کند. هزینه تدارک و خرید تجهیزات، تنها بخشی از کل هزینه چرخه عمر می‌باشد،

هزینه‌های نگهداری و تعمیرات و هزینه‌های عملیاتی و هزینه استهلاک می‌باشد.

در این نمودار سالی که در آن مجموع هزینه‌ها کمینه (مینیمم) است، سال بهینه برای جایگزینی اتوبوس‌ها است.

۱۰-۸- جمع‌بندی نتایج

با توجه به نرخ استهلاک ۱۵ درصد و تورم و ارزش زمانی پول و تغییر قیمت نفت گاز، عمر بهینه جایگزینی اتوبوس‌ها، حدود ۷ سال به‌دست آمده و مینیمم هزینه سالیانه در عمر ۷ سال، حدود ۳۲۰ میلیون ریال می‌باشد.

بهترین زمان جایگزینی اتوبوس O500 در شرایط مورد مطالعه، در پایان سال هفتم می‌باشد. این محاسبات بدون در نظر گرفتن هزینه خواب اتوبوس است، ضمن آنکه به دلیل نو بودن ناوگان، احتمال می‌رود هزینه‌های سال‌های آتی بیشتر باشد و از الگوی قبل پیشی بگیرد. در این محاسبات هزینه‌های تعمیرات اساسی که احتمال دارد در سال‌های پس از عمر ۵ سال اتوبوس رخ دهد، دیده نشده است و بنا بر داده‌های تاکنون در مورد عمر اقتصادی اتوبوس‌ها، قضاوت شده است. لذا توصیه می‌شود در سال‌های آتی محاسبات به‌روزرسانی شود که قطعاً نتایج دقیق‌تری به‌دست خواهد آمد.

- [2] Hamer K., Arevalo E., "Assessment of Treatment and Disposal Options", Sustainable Management of Sediment Resources. B. Dr. Giuseppe and P. Ing. Leonardo, Elsevier. Vol. (2), pp. 133-159, 2007.
- [3] Brown R. J., "A new marketing tool: Life-cycle costing", Industrial Marketing Management 8(2), pp. 109-113, 1979.
- [4] Li Y. G., Nilkitsaranont P., "Gas turbine performance prognostic for condition-based maintenance", Applied Energy, 86(10), pp. 2152-2161, 2009.
- [5] Colle S., de Abreu S. L., "Uncertainty in economical analysis of solar water heating and photovoltaic systems", Solar Energy 70(2), pp. 131-142, 2001.
- [6] Fraisse G., Bai Y., "Comparative study of various optimization criteria for SDHWS and a suggestion for a new global evaluation", Solar Energy 83(2), pp. 232-245, 2009.
- [7] Tasdemiroglu E., "Incentives for solar water heating systems", Energy 10(1), pp. 1-15, 1985.
- [8] Ahluwalia P. K., Nema A. K., "A life cycle based multi-objective optimization model for the management of computer waste", Resources, Conservation and Recycling 51(4), pp. 792-826, 2007.
- [9] Kim H. C., Keoleian G. A., "Optimal household refrigerator replacement policy for life cycle energy, greenhouse gas emissions, and cost", Energy Policy 34(15), pp. 2310-2323, 2006.
- [10] Sullivan J. M., Economic Factors for the Production of Metallocene and Perfluorinated Boron Cocatalysts. Metallocene Catalyzed Polymers. Norwich, NY, William Andrew Publishing, pp. 1-10, 1998.
- [11] Pant D., Singh A., "An introduction to the life cycle assessment (LCA) of bioelectrochemical systems (BES) for sustainable energy and product generation: Relevance and key aspects", Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- [12] Kaebemick H., Sun M., "Simplified Lifecycle Assessment for the Early Design Stages of Industrial Products", CIRP Annals -

بیشتر هزینه‌ها، مربوط به هزینه دوران بهره‌برداری و بخش اعظم آن نیز به‌خاطر خرابی‌هایی است که در طول این دوره رخ می‌دهد. تحلیل LCC در انتخاب تجهیزات و یا در تعویض و جایگزینی تجهیزات (به‌دلیل عمر زیاد یا جایگزینی با فناوری جدید) اهمیت زیادی داشته و برای مقایسه و انتخاب یا تعیین زمان جایگزینی، ضروری است.

اجرای مدل LCC برای اتوبوس‌های شرکت جوان‌سیر، به مدیران در تصمیم‌گیری مؤثر و بهینه در خصوص خرید، جایگزینی و خروج از سازمان این تجهیزات، کمک شایانی نمود. نتایج تحلیل عمر اقتصادی در این شرکت، نشان داد که هر چه جایگزینی پس از سال هفتم به تأخیر بیفتد، هزینه‌های بیشتری به‌صورت تصاعدی برای سازمان به همراه دارد. شایان ذکر است که برای جایگزینی باید معیارهای دیگری چون وضعیت عملیاتی و فنی اتوبوس، شرایط اقتصادی و شرایط بازار نیز در نظر گرفته شود. همچنین یکی از مهم‌ترین نکات در تصمیم‌گیری به‌منظور جایگزینی، بررسی اثر تغییر پارامترها با توجه به شرایط جدید می‌باشد که این موضوع اهمیت اجرای مدل را در دوره‌های سالانه را افزایش می‌دهد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل یک طرح پژوهشی است که در مرکز مطالعات و پژوهش‌های لجستیکی دانشگاه جامع امام حسین(ع)، زیر نظر استاد محترم، جناب آقای دکتر علی زواشکیانی از دانشگاه تورنتوی کانادا، انجام شده است. مؤلفین بر خود لازم می‌دانند کمال تشکر و قدردانی را از راهنمایی‌های ارزشمند ایشان به‌عمل آورند.

منابع

- [1] Rosenfeld Y., A. Shapira A., "Automation of existing tower cranes: economic and technological feasibility." Automation in Construction 7(4), pp. 285-298, 1998.

- Systems. D. T. Elsevier Science Ltd: 395-400, 2006.
- [22] Kaminaris S. D., Tsoutsos T. D., "Assessing renewables-to-electricity systems: a fuzzy expert system model", Energy Policy 34(12), pp. 1357-1366, 2006.
- [23] Xu Z., Khoshgoftaar T. M. T. M., "Identification of fuzzy models of software cost estimation", Fuzzy Sets and Systems 145(1), pp. 141-163, 2004.
- [24] Monga A., Zuo M. J., "Optimal design of series-parallel systems considering maintenance and salvage value", Computers & Industrial Engineering 40(4), pp. 323-337, 2001.
- [25] Rhee S. J., Ishii K., "Using cost based FMEA to enhance reliability and serviceability", Advanced Engineering Informatics 17(3-4), pp. 179-188.
- [26] Stember L. H., "Reliability considerations in the design of solar photovoltaic power systems", Solar Cells 3(3), pp. 269-285, 1981.
- [27] Stampfl E., Meyer L., "Assessment of existing and future launch vehicle liquid engine development", Acta Astronautica 17(1), pp. 11-22, 1988.
- [28] Wilson R. L., "Operations and support cost model for new product concept development", Computers & Industrial Engineering 11(1-4), pp. 128-131, 1986.
- [29] van Noortwijk J. M., "Explicit formulas for the variance of discounted life-cycle cost", Reliability Engineering & System Safety 80(2), pp. 185-195, 2003.
- [۳۰] آشتیانی، علیرضا، تعیین عمر اقتصادی ۳ مدل تراکتور کشاورزی در ایران، مطالعه موردی شرکت زراعی دشت ناز مازندران، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۳.
- [۳۱] عدلی، اکبر و همکاران، بررسی عمر مفید کمباین‌های متداول در منطقه مغان، مجله دانش کشاورزی، شماره ۱۳، صفحه ۳۱-۳۶، ۱۳۸۲.
- [۳۲] مدرس یزدی و همکاران، طراحی زنجیره تأمین مبتنی بر نوع و چرخه عمر محصول، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۵.
- Manufacturing Technology 52(1), pp. 25-28, 2003.
- [13] Kato K., Ito K., Modern tribology in life cycle assessment. Tribology and Interface Engineering Series. M. P. G. D. D. Dowson and A. A. Lubrecht, Elsevier. Volume 48: 495-506, 2005.
- [14] Pietrapertosa F., Cosmi C., "Life Cycle Assessment, ExternE and Comprehensive Analysis for an integrated evaluation of the environmental impact of anthropogenic activities", Renewable and Sustainable Energy Reviews 13(5), pp. 1039-1048, 2009.
- [15] Rey Martínez F. J., Velasco Gómez E., "Life cycle assessment of a semi-indirect ceramic evaporative cooler vs. a heat pump in two climate areas of Spain", Applied Energy 88(3), pp. 914-921, 2011.
- [16] Sonesson U., Björklund A., "Environmental and economic analysis of management systems for biodegradable waste", Resources, Conservation and Recycling 28 (1-2), pp. 29-53, 2000.
- [17] Flores-Alsina X., Gallego A., "Multiple-objective evaluation of wastewater treatment plant control alternatives", Journal of Environmental Management 91(5), pp. 1193-1201, 2010.
- [18] Aquilonius K., Hallberg B., "Sensitivity and uncertainty analyses in external cost assessments of fusion power", Fusion Engineering and Design 58-59: 1021-1026, 2001.
- [19] Dahlström K., Ekins P., "Combining economic and environmental dimensions: Value chain analysis of UK iron and steel flows", Ecological Economics 58(3), pp. 507-519, 2006.
- [20] Gustafsson S.-I., "Optimisation and simulation of building energy systems", Applied Thermal Engineering 20(18), pp. 1731-1741, 2000.
- [21] Heilala J., Montonen J., "Life Cycle and Unit Cost Analysis for Modular Re-Configurable Flexible Light Assembly Systems", Intelligent Production Machines and

measurement". Trafford Press. Vancouver, Canada, 2009.

[46] Drinkwater, R.W., Hastings, N.A.J. An "Economic Replacement Model. Operations Research Quarterly", Vol.18 (2), pp. 121-138, 1967.

[33] Department of Defense Directive No. 5000.1, "Acquisition of Major Defense System", United States Department of Defense, Washington, D.C., 1971.

[34] Report No. LMI Task 4C-5, Prepared by Logistics Management Institute (LMI) "Life Cycle Costing in Equipment", Washington, D.C., 1965.

[۳۵] غفاری، محمدجواد، هزینه‌یابی دوره عمر محصول، دانشگاه شیراز، <http://www.raghebacc.ir>، ۱۳۸۹.

[36] Steen, Bengt..Environmental Costs and Benefits in Life Cycle Costing, An International Journal Management of Environmental Quality, Vol.16, No.2, pp.107-118, 2005.

[37] Ali Zuashkiani "Optimizing Life Cycle Costing Decisions", IPAMC march, Tehran, 2009.

[۳۸] حاج شیرمحمدی، علی، "برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات" دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۷۶.

[۳۹] صراف‌جوشقانی، حسن و بیطرف، احمد "تعریف و توسعه چرخه عمر EPEG" ششمین کنفرانس ملی نگهداری و تعمیرات، ۱۳۸۹.

[۴۰] امری اسرمی، محمد. دوره عمر محصول و روش هزینه‌یابی آن، ماهنامه حسابدار، شماره ۱۶۸، ۱۳۸۴.

[۴۱] محمد بهرو، مصطفی مصطفوی، اهمیت تعیین هزینه چرخه عمر تجهیزات؛ مطالعه موردی، شرکت سیمان شرق، ششمین کنفرانس نگهداری و تعمیرات، ۱۳۸۹.

[42] M.E. Earles, "Factors, Formulas, and Structures for Life Cycle Costing", Second Edition, Eddins-Earles, Privately Published, Concord, Massachusetts, 1981.

[43] Jaafari, A., Mateffy, V. K., "Realistic Model for Equipment Replacement", Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol.116 (3), 514-532, 1990.

[44] Schexnayder, Clifford Joseph, J.R., "Heavy Construction Equipment Replacement Economics". Purdue University, Indiana, USA, 187 pages; AAT 8102704, 1980.

[45] Diewert, W.E., Balk, M.B., Fixler, D., Fox, K.J., Nakamura, A.O. "Price and productivity