

# ارائه مدلی برای تعیین عمر عملیاتی تجهیزات بر اساس شرایط کاربری و محیطی

مصطفی یوسفی طزرجان\*  
دانشگاه جامع علمی- کاربردی

سعید رضانی<sup>۲</sup>، امیرطه جلالی<sup>۳</sup>  
معاونت آحاد و پشتیبانی سپاه

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۱۲/۱۵

## چکیده

در تصمیم‌گیری‌های حوزه آحاد و پشتیبانی، به‌خصوص در سازمان‌های نظامی، تعیین عمر مفید کالاها اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا جایگزینی پیش از موعد، هزینه‌های اضافی در بر دارد و جایگزینی دیرتر از موعد باعث کاهش بازدهی مأموریتی سازمان و افزایش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات می‌گردد. در نتیجه با آگاهی از عمر مفید تجهیزات می‌توان مدیریت کالاها و تجهیزات را تسهیل نمود. هدف اصلی این تحقیق ارائه مدلی برای تعیین عمر استاندارد کالاهای سرمایه‌ای در شرایط متعارف سازمان (عمر استاندارد سازمانی)، عمر کالا در شرایط کارکردی تجهیز (عمر عملیاتی) و پیش‌بینی عمر باقیمانده کالاهای سرمایه‌ای در شرایط عملیاتی است که ابزار مناسبی برای مدیریت تجهیزات به‌شمار می‌رود.

بر این اساس مدل جامعی که شامل سه بخش اصلی است، طراحی شد. در هر بخش از این مدل روش مناسبی مبتنی بر شرایط سازمان ارائه می‌گردد. در بخش نخست عمر استاندارد سازمانی بر اساس استانداردهای موجود، نظر سازنده و خبرگی، در بخش دوم شرایط کاربری و محیطی، شاخص‌های مؤثر بر عمر و میزان تأثیر آنها با روش دلفی و در بخش سوم، عمر باقیمانده تجهیز بر مبنای نحوه استفاده قبلی و آتی و ضرایب تعیین شده بخش دوم، محاسبه می‌گردد. مدل به‌صورت آزمایشی در سازمان پیاده‌سازی شد که نتیجه آن نشان از دقت بالای ۸۰ درصدی مدل دارد.

**واژه‌های کلیدی:** هزینه چرخه عمر، عمر اقتصادی، عمر استاندارد، عمر عملیاتی، عمر باقیمانده، جایگزینی تجهیزات، روش دلفی.

## ۱- مقدمه

خوبی می‌توان زمینه‌های تصمیم‌سازی صحیح و معتبر را فراهم نمود.

بی‌شک تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در حوزه کالاها و تجهیزات سرمایه‌ای همواره یکی از دغدغه‌های اصلی مدیران عالی سازمان‌ها بوده است. به عبارت دیگر مدیران باید بدانند وضعیت کنونی در حوزه کالاها سرمایه‌ای چیست و سازمان به سوی چه اهدافی در این حوزه باید حرکت نماید؟ بنابراین قدم نخست در زمینه مدیریت بر دارایی‌های فیزیکی سازمانی، آگاهی از وضعیت کالاها و تجهیزات سرمایه‌ای می‌باشد. یکی از عوامل و فاکتورهای مؤثر در بیان و ترسیم وضعیت کالاها و تجهیزات، عمر آنها می‌باشد که در ابتدای فرایند مدیریت بر کالاهای سرمایه‌ای یا دارایی‌های فیزیکی باید مورد توجه قرار گیرد. علاوه بر آن در سازمان‌های نظامی، عمر عملیاتی و عمر باقیمانده، یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی

امروزه دانش مدیریت دارایی‌های فیزیکی در ادبیات علمی چنان گسترده شده است که هرگونه تصمیم‌گیری در خصوص دارایی‌ها، کالاها و تجهیزات سرمایه‌ای را تحت شعاع قرار می‌دهد، به‌طوری‌که با استفاده از ابزارهای علمی- مدیریتی به

\*۱- کارشناس معاونت پژوهشی دانشگاه جامع علمی کاربردی، کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، نویسنده پاسخگو، پست‌الکترونیکی: Yousofi@uast.ac.ir، نشانی: تهران، خیابان انقلاب، نبش خیابان استاد

نجات‌الهی، دانشگاه جامع علمی کاربردی، طبقه پنجم

۲- پژوهشگر معاونت آحاد و پشتیبانی سپاه، کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، پست‌الکترونیکی: Ramezani.sr@gmail.com

۳- کارشناس معاونت آحاد و پشتیبانی سپاه، کارشناسی مهندسی صنایع، پست‌الکترونیکی: Jalali.at@gmail.com

محیطی، فنی و کاربری بر عملیاتی بودن تجهیزات دارد. آگاهی از میزان عمر مفید خدمتی کالاهای سرمایه‌ای، بر اجرای استراتژی‌های آمادی در استفاده از کالاها و تجهیزات سرمایه‌ای مؤثر بوده و امکان مدیریت کارا و اثربخش را در حوزه فعالیت‌های آمادی فراهم می‌آورد.

دانستن عمر مفید خدمتی کالا پیش زمینه‌ای برای محاسبه عمر مفید باقیمانده است. دانستن عمر مفید باقیمانده کالا به مدیران و تصمیم‌گیران در برآورد، برنامه‌ریزی، هزینه‌یابی و بودجه‌بندی و ... کمک می‌کند. این موضوع در برنامه‌ریزی مأموریت‌ها، برنامه‌ریزی خرید، بودجه سالانه و بودجه مستقیم بسیار تأثیرگذار خواهد بود.

تعیین عمر مفید خدمتی کالاها باعث می‌شود که تصویر مناسبی از وضعیت کالاهای موجود در سازمان برای مدیران فراهم شود و قبل از اینکه کالا قابلیت عملیاتی خود را از دست بدهد برای آن برنامه‌ریزی مناسب انجام شود. این موضوع در سازمان‌های نظامی به خاطر استفاده انحصاری تر از کالاهای نظامی و وجود نمونه‌های مشابه کمتر، حساس‌تر و بحرانی‌تر است.

در داخل کشور تعیین عمر مفید خدمتی کالاها با توجه به تحریم‌های سیاسی - اقتصادی و محدودیت خرید برخی از کالاها یا خرید قطعات و ...، از حساسیت بیشتری برخوردار بوده و هم به این دلایل، هزینه‌های خرید و هزینه‌های جانبی برخی از کالاهای نظامی با هزینه‌های جهانی متفاوت است. به تبع آن عمر مفید خدمتی این کالاها به شدت با عمر مفید اعلامی از سوی سازنده متفاوت می‌باشد.

با مشخص شدن عمر مفید خدمتی کالاهای سازمان، وضعیت اقلام مشخص و تعداد اقلام فرسوده و از رده خارج سازمان که نیازمند جایگزینی هستند با دقت بالا و بر اساس مدل‌های ریاضی تعیین می‌گردد، که بستر مناسبی برای برنامه‌ریزی، برآورد و تجهیز سازمان می‌باشد. با در نظر گرفتن کلیه این مطالب، تعیین عمر استاندارد اقلام، عمر عملیاتی کالا، عمر مفید خدمتی کالا و عمر مفید باقیمانده کالا یکی از نیازهای ضروری و پایه‌ای در سیستم آماد و پشتیبانی است.

این موضوع در تصمیم‌گیری‌ها و تصمیم‌سازی‌های کلیه زیرسیستم‌های آمادی نظیر برآورد، تأمین، توزیع، حمل و نقل، نگهداری و تعمیرات، کنترل اموال و تعیین تکلیف، به‌طور مستقیم و غیرمستقیم مؤثر بوده و تعیین این مدل گامی ارزنده در بهبود کل سیستم آماد محسوب می‌شود.

آمادگی کالاها و تجهیزات سرمایه‌ای بوده که علاوه بر تأثیر آن در آمادگی رزم در عملیات‌های نظامی، مبنای تصمیم‌گیری و تخصیص منابع در حوزه‌های مختلف آمادی سازمان خواهد بود.

یکی از مزایای سیستم تعیین عمر عملیاتی، تجهیزات آن است که با مشخص شدن وضعیت عمر کالاهای سازمان، معلوم می‌شود که چه تعداد از کالاها در چه زمانی، باید از سازمان خارج شود. بنابراین برنامه‌ای برای تأمین کالاها تنظیم خواهد شد، به عبارت دیگر عمر باقیمانده تجهیزات، مبنای مدیریت تجهیز سازمان است. علاوه بر آن تعیین عمر مفید کالاها در خرید، برآورد، توزیع، نگهداری و تعمیرات، تعیین تکلیف، کنترل اموال و ... نقش دارد.

از آنجایی که حجم سرمایه‌گذاری در خرید و به‌کارگیری کالاها و تجهیزات سرمایه‌ای سازمان‌های نظامی، قابل ملاحظه می‌باشد، مدیریت مناسب دارایی‌های فیزیکی، به منزله صیانت از سرمایه‌های سازمانی است، لذا برای استفاده بهینه و افزایش عمر مفید کالاها و تجهیزات در سطح سازمان، نیاز به تدوین اطلاعات منسجمی در خصوص وضعیت کالاها و تجهیزات می‌باشد. در برنامه‌ریزی جامع آمادی می‌توان با دوراندیشی و سازماندهی مناسب، منابع و داده‌های مورد نیاز را در قالب یک الگوی علمی-کاربردی گردآوری، ثبت و تجزیه و تحلیل نمود و از نتیجه آن وضعیت و عمر مفید خدمتی کالاها و تجهیزات سرمایه‌ای را تعیین نموده و اقدامات آینده را برای رسیدن به وضع مطلوب تدوین کرد.

## ۱-۱- کاربرد عمر مفید خدمتی تجهیزات در تصمیم‌گیری‌های آمادی

هم اکنون به‌دلیل فقدان یک سیستم مناسب برای تعیین عمر مفید خدمتی کالاها و تجهیزات سرمایه‌ای بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها در حوزه‌های مختلف آمادی با شفافیت کامل اتخاذ نشده و همواره مدیران عالی با ابهاماتی در تصمیم‌گیری مواجه می‌باشند. از این منظر تعیین "عمر" از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و ایجاد فهم مشترک از مفهوم عمر یا عمر مفید خدمتی، عمر استاندارد و عمر عملیاتی، ضرورت می‌یابد.

این در حالی است که بدون دست‌یابی به الگو و روشی برای تعیین عمر مفید خدمتی کالاها و تجهیزات سرمایه‌ای، نمی‌توان تأثیر آن را بر فرایندهای آمادی شناسایی کرد. شناخت و ارزیابی تأثیر شاخص‌های مؤثر بر عمر مفید خدمتی کالاها و تجهیزات سرمایه‌ای، موجب درک بهتر تأثیرات

## ۲- ادبیات موضوع

### ۱-۲- عمر استاندارد

عمر استاندارد، عمر مفید در شرایط کارکردی و محیطی متعارف سازمان است. در دنیا استانداردهای مختلفی وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به استانداردهای ملی و بین‌المللی و استانداردهای سازمان‌های مالیاتی و ... اشاره کرد. این استانداردها می‌توانند پایه‌ای برای عمر استاندارد کالاهای سازمان باشد اما اولاً برای برخی از کالاهای سازمان در استانداردها و نظر سازنده عمری مشخص نشده است. ثانیاً در مواردی، عمر اعلامی با شرایط سازمان تطابق ندارد. اما این مقادیر برای روش‌های تعیین عمر در شرایط استاندارد سازمان و سپس عمر عملیاتی کالا در شرایط مختلف قابل بهره‌برداری خواهد بود.

در این خصوص عمر مفید مورد انتظار برای کالاها در استانداردهای مختلف دنیا ارائه شده است. برخی از این موارد در جدول (۱) ارائه شده است.

همچنین عمر مفید کالاها طبق جداول استهلاک‌های قانون مالیات ایران قابل استناد می‌باشد. به عبارت دیگر یکی از منابع معرفی عمر استاندارد کالاها، جداول استهلاک حسابداری است. در این جداول، مطابق ماده (۱۵۱) قانون مالیات‌های مستقیم شرح دارایی‌های قابل استهلاک با روش مستقیم یعنی عمر مفید آنها و با روش نزولی یعنی درصد استهلاک آنها ارائه شده است.

عمر استاندارد کالاها برای شرایط متعارف و عمومی سازمان اعلام شده و عددی واحد و استاندارد ارائه می‌دهد. اما همه کالاها در این شرایط به کارگیری نمی‌شوند و تنوع شرایط و تأثیر آن بر عمر کالا مستلزم آن است که علاوه بر آن عمر عملیاتی نیز محاسبه شود. البته برای محاسبه عمر عملیاتی یکی از مهم‌ترین و مستندترین اطلاعات لازم، عمر استاندارد

است. در برخی از موارد بین استانداردهای مختلف، اختلاف وجود دارد. این موضوع به‌ویژه در شرایط به‌کارگیری در سازمان سپاه شدیدتر آشکار می‌شود، بنابراین باید با روش‌های تصمیم‌گیری، عمر استاندارد مناسب سازمان محاسبه شده و همچنین با روش‌های پیش‌بینی عمر عملیاتی برای کالاها در شرایط عملیاتی مختلف محاسبه شود.

عمر استاندارد اعلام شده در استانداردهای ملی و بین‌المللی و عمر استاندارد که از سوی سازنده اعلام می‌شود با آنکه گاهی با شرایط سازمان انطباق ندارد، اما می‌تواند پایه خوبی برای اعلام به خبرگان سازمان و ایده گرفتن از آنها برای شرایط سازمان باشد.

### ۲-۲- عمر مفید باقیمانده

مبحث عمر مفید باقیمانده یک قطعه یا تجهیز را با توجه به وضعیت فعلی و روند گذشته آن تخمین می‌زنند. در مقالات برای این کار روش‌های مختلفی با توجه به نوع داده‌های مسئله معرفی و به‌کارگیری شده‌اند. مدل‌های عمر مفید باقیمانده به‌ویژه در بحث نگهداری و تعمیرات مورد استفاده قرار گرفته است و با توجه به وضعیت و روند خرابی‌ها و سوابق نگهداری و تعمیرات آن به محاسبه عمر باقیمانده اجزاء و قطعات می‌پردازند.

کالاها در مدت عمر خود تحت عوامل مخرب و آسیب‌های متعددی قرار می‌گیرند. به دلیل آسیب‌های وارده به قطعات مختلف، امکان اختلال در عملیات یا توقف غیرمنتظره وجود دارد [۱]. امروزه تحقیقات فراوانی در زمینه نگهداری، مدیریت اطلاعات، تعمیرات و تکنولوژی تخمین عمر باقیمانده قطعات مختلف انجام می‌شود که هدف نهایی آنها نگهداری هر چه بهتر

جدول (۱): عمر مفید مورد انتظار در استانداردهای بین‌المللی

ردیف	ارائه‌کننده	سند	ویژگی‌ها
۱	مؤسسه جورجیای آمریکا	خدمات بازرسی فیزیکی عمر مفید "مورد انتظار"	عمر متعارف، بیشینه و عمر پیشنهادی
۲	دانشگاه کلرادو	استاندارد حسابداری	عمر استاندارد به همراه کد و دسته‌بندی کالاها شامل کالاهای نظامی
۳	سیستم اطلاعات جامع کارولینای جنوبی آمریکا	عمر مفید دارایی‌ها	عمر استاندارد
۴	مدیریت مالی اداره خدمات عمومی ایالت نیویورک	عمر مفید کالاها	عمر استاندارد

ی) تخمین عمر مفید باقیمانده پمپ‌ها با استفاده از مدل شبیه‌سازی مارکوف [۲۱].  
 ک) استفاده از روش‌های آماری برای بررسی میانگین عمر باقیمانده در تحلیل زمان خرابی [۲۲].

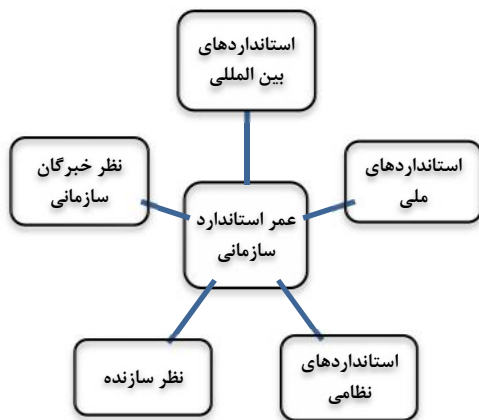
### ۳- مدل تعیین عمر مفید

در مدل طراحی شده، عمر باقیمانده با استفاده از عمر استاندارد سازمانی، عمر عملیاتی و عمر تقویمی محاسبه می‌شود. شکل (۱) عوامل مورد نیاز برای محاسبه عمر مفید باقیمانده را نشان می‌دهد.

در این مدل عمر استاندارد کالا از یک یا ترکیبی از روش‌های نظر سازنده، استانداردهای سازمانی، ملی، بین‌المللی و یا روش‌های تصمیم‌گیری یا محاسبه عمر اقتصادی محاسبه می‌شود. عمر استاندارد بیانگر عمر کالا در شرایط استاندارد و معمول سازمان است که منابع آن در شکل (۲) نشان داده شده است.

با استفاده از منابع فوق عمر استاندارد سازمانی کالا تعیین می‌شود. جدول (۲) نمونه‌ای از عمر استاندارد سازمانی را نشان می‌دهد.

از جنبه کارکردی با توجه به نوع و محل استفاده و میزان و نحوه کارکرد آن، عمر مفید خدمتی کالا تغییر می‌کند. عمر عملیاتی کالا از این منظر محاسبه می‌شود. با توجه به فقدان داده‌های ثبت شده دقیق، پایه اصلی سیستم بر اساس خبرگی می‌باشد. عوامل مؤثر بر عمر مفید کالا و ضرایب آن بر اساس نظر خبرگی عمل می‌شود.



شکل (۲). منابع محاسبه عمر استاندارد سازمانی

کالاها و افزایش عملکرد و بهره‌وری آنها است. مقالات و منابع فارسی محدودی در این زمینه وجود دارد که از بین آنها می‌توان به منابع شماره [۲] تا [۵] اشاره کرد. پایان‌نامه [۲] عمر اقتصادی سه مدل تراکتور کشاورزی، مقاله [۳] عمر مفید کمباین‌ها و مقالات [۴] و [۵] تعیین عمر مفید مهمات را مورد مطالعه قرار دادند. در زمینه "عمر باقیمانده" مقالات علمی زیادی وجود دارد. از جمله:

الف) کاهش عمر ناشی از فرسودگی تجهیزات [۶] در پل‌های راه‌آهن [۷]، در تجهیزات سنگین معدن [۸] و در آسفالت [۹].  
 ب) ارزیابی عمر باقیمانده قطعات [۱۰] و [۱۱]، لوله‌ها [۱۲] و بویلرها [۱۳].

ج) تخمین عمر باقیمانده در قطعات دارای ترک [۱۴].

د) پیش‌بینی عمر باقیمانده لوله‌ها مبتنی بر خوردگی آنها [۱۵].

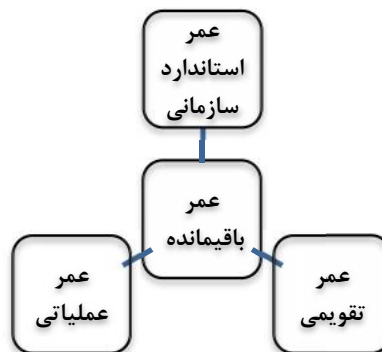
ه) پیش‌بینی زمان باقیمانده تا خرابی بر اساس پیش‌بینی عیوب در ساختارهای هوشمند [۱۶].

و) تخمین مبتنی بر مدل با استفاده از مونت کارلو برای جایگزینی قطعات مبتنی بر شرایط و پیش‌بینی خرابی و زمان خرابی با استفاده از مدل دو مرحله‌ای بر اساس نگهداری مبتنی بر شرایط [۱۷].

ز) پیش‌بینی زمان باقیمانده تا خرابی بر اساس پیش‌بینی عیوب در یاتاقان‌ها بر اساس تحلیل سیگنال‌های ارتعاش دستگاه با استفاده از تحلیل پویای غیرخطی [۱۸].

ح) تخمین عمر مفید باقیمانده با روش هزینه چرخه عمر با استفاده از توزیع خرابی ویبول و شبکه عصبی [۱۹].

ط) هزینه چرخه عمر به‌عنوان تکنیکی برای مدیریت دارایی‌ها [۲۰].



شکل (۱). عوامل محاسبه عمر مفید باقیمانده

جدول (۲): عمر استاندارد سازمانی

عمر کارکردی (استاندارد ساعت)	عمر استاندارد (نهایی سال)	دسته		
		بولدوزرها	بیل مکانیکی، لودر، گریدر	ماشین‌آلات راهسازی
۴۰۰۰۰	۱۸	بولدوزر		
۳۶۰۰۰	۱۵	بیل مکانیکی		
۳۶۰۰۰	۱۵	لودر		
۳۱۰۰۰	۱۳	گریدر		
۲۴۰۰۰	۱۰	کلامشل		

در این مطالعه با استفاده از روش‌های ریاضی، سعی شده است محاسبات تعیین عمر مفید کالاها برای شرایط مختلف، مدل‌سازی و بر پایه آن نرم‌افزاری تهیه گردد.

### ۳-۱- عمر عملیاتی

عمر عملیاتی مدت زمانی که یک کالا با توجه به شرایط کارکردی و محیطی فعالیت داشته اطلاق می‌شود. به عبارت دیگر، میزان تأثیر شرایط بر عمر تقویمی و عمر کارکردی کالا، عمر عملیاتی تقویمی و عمر عملیاتی کارکردی آن را بیان می‌کند.

برای رسیدن به عمر واقع‌بینانه باید علاوه بر توجه به عمر استاندارد سازمانی به متغیرهای دیگر مانند عوامل و شرایط مختلف، که عمر مفید کالا را تحت تأثیر قرار می‌دهند، توجه کرد. به عبارت دیگر پس از تعیین عمر استاندارد، باید تابع تبدیل عمر کارکردی و عمر تقویمی به عمر عملیاتی یعنی عمر معادل با توجه به شرایط عملیاتی کالا، تعیین می‌شود. شرایط کارکردی و عوامل مؤثر بر آن از جمله وضعیت جغرافیایی، وضعیت آب و هوایی و... در فرسودگی و کاهش دقت، سرعت و... یا به‌طور کلی بر کارکرد کالا تأثیر می‌گذارند. این عوامل موجب کاهش یا افزایش عمر مفید نسبت به شرایط استاندارد می‌شوند.

تعیین عوامل مؤثر، گزینه‌ها و میزان تأثیر آنها با استفاده از منابع، مستندات و نظرات خبرگان انجام می‌پذیرد. عمر عملیاتی، با توجه به ضرب عمر تقویمی در میزان تأثیر هر یک از شاخص‌های مؤثر بر عمر کالای مربوطه و ضرایب مربوط به شرایط یگان، مطابق رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$F = \prod_{i=1}^n W_i \times T \quad (1)$$

که در آن داریم:

$T$ : عمر تقویمی

$W_i$ : میزان تأثیر شاخص  $i$ ام

$i$ : شمارنده تعداد شاخص‌های مؤثر بر عمر عملیاتی کالای مورد نظر است.

برای سهولت در انجام محاسبات، نرم‌افزاری تهیه شده که با استفاده از آن کلیه محاسبات فوق به سادگی قابل انجام است. همچنین "عمر تقویمی" با توجه به کسر سال فعلی از سال ساخت کالا تعیین می‌شود.

عمر عملیاتی معادل باقیمانده (عمر مفید باقیمانده) برای هر یک از کالاها با توجه به ضرب "عمر استاندارد باقیمانده" در میزان تأثیر هر یک از شاخص‌های مؤثر بر عمر، برای شرایطی که قرار است کالا در آینده در آن شرایط فعالیت کند، مطابق رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$FR = \prod_{i=1}^n \left(\frac{1}{W_i}\right) \times R \quad (2)$$

در این رابطه، داریم:

$R$ : عمر استاندارد باقیمانده

$W_i$ : میزان تأثیر شاخص  $i$ ام

$i$ : شمارنده تعداد شاخص‌های مؤثر بر عمر باقیمانده

در این رابطه، عمر استاندارد باقیمانده از تفاضل عمر عملیاتی و عمر استاندارد طبق رابطه (۳) به‌دست می‌آید.

$$R = S - F \quad (3)$$

در این رابطه، داریم:

$F$ : عمر عملیاتی

$S$ : عمر استاندارد

### ۲-۳- میزان کارکرد کالا به عنوان شاخص دوم (عمر کارکردی)

در برخی از کالاها مانند خودروها علاوه بر عمر، میزان کارکرد یا انجام عملیات آن نیز شاخصی برای عمر آن محسوب می‌شود. برای مثال در یک خودروی سبک، عمر علاوه بر سال بر مبنای کیلومتر کارکرد نیز بررسی می‌شود. مانند عمر استاندارد ۸ سال یا ۳۰۰/۰۰۰ کیلومتر برای خودروی سبک. بنابراین به عنوان شاخص دوم برای تعیین عمر استاندارد و عملیاتی، میزان کارکرد را لحاظ می‌کنیم. کارکرد در هر کالا می‌تواند متفاوت باشد، از جمله در خودروها کیلومتر کارکرد، در پرتابگرها تعداد شلیک، در ماشین‌آلات تولیدی، تعداد تولید، در برخی از ماشین‌آلات، تعداد خاموش و روشن شدن، در هواپیما تعداد پرواز<sup>۱</sup> و... یادآوری می‌گردد و در برخی از کالاها شاخص دوم (کارکردی) وجود ندارد.

### ۳-۳- تعیین شاخص‌های مؤثر بر عمر مفید کالاها

برای تعیین شاخص‌ها باید کالاهایی انتخاب شوند که از ویژگی‌های زیر برخوردار باشند:  
الف) قابل اندازه‌گیری باشد.  
ب) در عمر مفید کالا مؤثر باشد.  
ج) مجموعه جامع پوشش‌دهنده جنبه‌های مختلف مؤثر بر عمر مفید کالا باشد.

شاخص‌های مؤثر بر عمر عملیاتی و عمر باقیمانده در هر دسته به‌طور عمومی عبارتند از:  
مشخصات عمومی یگان شامل:

- آب و هوا
- شرایط جغرافیایی
- نوع مأموریت یگان
- که هر یک زیر شاخص‌هایی دارند که عبارتند از:
- آب و هوا
  - دما
  - رطوبت
  - بارش
- شرایط جغرافیایی
  - گرد و خاک
  - منطقه
  - نوع مسیر حرکت

- نوع مأموریت یگان
  - شرایط عملیاتی یگان
- برخی از شاخص‌ها نیز متناسب با نوع کالا متفاوت هستند، از جمله:
  - میزان استفاده از تجهیز
  - کیفیت کاربری
  - کیفیت نگهداری و تعمیرات
  - کیفیت محصول
- که هر یک زیر شاخص‌هایی دارند که عبارتند از:
  - میزان استفاده از تجهیز
    - حجم استفاده در دوره عمر
    - دقت و کیفیت کارکرد مورد انتظار از تجهیز
  - کیفیت کاربری
    - عملکرد خدمه/کاربران
  - کیفیت نگهداری و تعمیرات
    - عملکرد متصدیان نت / تعمیرکاران
    - کیفیت نگهداری کوتاه‌مدت و بلندمدت (وضعیت پارکینگ و انبارداری)
  - کیفیت محصول
- برای هر یک از شاخص‌ها واژه‌هایی تعریف می‌شوند تا بر اساس آنها شرایط عملیاتی کالا تعیین گردد. جهت سادگی کاربری سیستم تعیین عمر مفید کالاهای سرمایه‌ای، مدل طوری طراحی شده است که تعیین مقدار شاخص‌ها با واژه‌های کیفی صورت پذیرد. وضعیت هر شاخص در سه واژه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به عنوان مثال، تقسیم‌بندی دما بر اساس میانگین دمای سال گذشته انجام شده است.

### ۳-۴- تعیین میزان تأثیر شاخص‌ها با روش دلفی

برای تعیین ضرایب و میزان تأثیر شاخص‌ها می‌توان از روش‌هایی مانند: روش طیف لیکرت، روش گروه غیرواقعی (NGT)، روش بوردا و روش انتخاب نظریات کارشناسان استفاده کرد. پس از آنکه شاخص‌های مؤثر بر عمر برای هر کالا مشخص شد باید میزان تأثیرگذاری هر یک از آنها بر عمر عملیاتی کالا تعیین می‌شود. این کار با تعیین میزان تغییر عمر در هر واژه مشخص می‌شود. در این تحقیق از فرایند دلفی برای تعیین میزان تأثیر شاخص‌ها، استفاده شده است.

جدول (۳) بخشی از پرسش‌نامه تعیین ضرایب را در تکرار اول نشان می‌دهد. در این جدول خبرگان عمر معادل کالا را در

1- Landing



شرایط مختلف برای هر شاخص اعلام می‌کنند. در تکرارهای بعدی برای شاخص‌هایی که بین خبرگان اختلاف معناداری وجود دارد، حداقل، حداکثر و میانگین و نظر قبلی خبره اعلام و از وی خواسته می‌شود تا نظر جدید خود را اعلام کنند.

برای تعیین میزان تأثیر شاخص‌های مؤثر بر عمر مفید کالاها، ابتدا پرسش‌نامه‌ای برای اخذ میزان تأثیر شاخص‌ها با توجه به شاخص‌های هر کالا و واژه‌های آن (برای هر شاخص ۳ واژه، با نظر خبرگان، تعیین شد) تدوین می‌شود. سپس با اجرای فرایند دلفی برای تعیین میزان تأثیر شاخص‌ها، میزان تأثیر شاخص‌های مؤثر بر عمر مفید کالاها با ۲ تکرار (در برخی از کالاها با ۳ تکرار) نهایی می‌شود. در تعیین شاخص‌ها، واژه‌های آنها و میزان تأثیر شاخص‌ها، برای تعیین مرز بین واژه‌ها در هر شاخص در حالت کلی، کشور به سه بخش تقسیم

می‌گردد. یک کالا همیشه در شرایط یکسان کار نمی‌کند. حتی شرایط جغرافیایی هم تغییر می‌کند. بنابراین در انتخاب واژه متناظر با هر کالا در هر شاخص باید آن را در وضعیتی قالب ارزیابی کرد. برای مثال خودرویی که به‌طور معمول در جاده خاکی حرکت می‌کند گاهی سنگلاخ، گاهی هوای گرم و گاهی هوای سرد را تجربه می‌کند. بنابراین در تعیین وضعیت هر شاخص برای هر کالا باید واژه‌ای را که به‌طور عموم در مورد آن صدق می‌کند، انتخاب کرد.

نکته قابل توجه این است که اکثر شاخص‌ها و معیارهای مؤثر بر عمر عملیاتی برای کلیه تجهیزات و کالاهای سرمایه‌ای در سازمان، یکسان است و عمدتاً در شرایط مختلف، میزان تأثیر شاخص‌ها تغییر می‌کند. جدول (۴) نمونه‌ای از جداول شاخص‌ها و میزان تأثیر هر یک از آنها را نشان می‌دهد.

جدول (۳): نمونه بخشی از فرم تعیین میزان تأثیر شاخص‌ها در تکرارهای فرآیند دلفی

نام شاخص	واژه ۱	تثبیت شده/نشده		واژه ۲	تثبیت شده/نشده	
		حداقل:	میانگین:		حداقل:	میانگین:
		حداکثر:	میانگین:		حداکثر:	میانگین:
		نظر قبلی شما:	نظر قبلی شما:		نظر قبلی شما:	نظر قبلی شما:

جدول (۴): نمونه شاخص‌ها و میزان تأثیر آنها

واژه‌ها				گروه کالا: شناورهای سبک بدنه فلزی			
عمر معادل	عمر معادل	عمر معادل	عمر معادل	شاخص‌ها			
۱/۰۱۰	سرد	۱/۰۰۰	معمولی	۱/۰۴۰	گرم	دما	آب و هوا
۱/۰۹۰	زیاد	۱/۰۲۵	متوسط	۱/۰۰۰	کم	رطوبت	
۱/۰۲۵	زیاد	۱/۰۱۵	متوسط	۱/۰۰۰	کم	بارش	
۱/۰۴۰	زیاد	۱/۰۲۵	متوسط	۱/۰۰۰	کم	گرد و خاک	شرایط جغرافیایی
۱/۰۷۵	دریای عمان	۱/۰۵۰	خلیج فارس	۱/۰۰۰	خزر	محدوده آب دریا	شرایط یگان
		۱/۰۰۰	دریای آزاد	۱/۱۴۰	مناطق خور	نوع مسیر حرکت	
۱/۰۹۰	زیاد	۱/۰۰۰	متوسط	۰/۹۰۰	کم	حجم استفاده در دوره عمر	
۱/۰۰۰	خوب	۱/۰۷۵	متوسط	۱/۱۷۵	ضعیف	عملکرد خدمه/کاربران	کیفیت کاربری
۱/۰۰۰	خوب	۱/۱۰۰	متوسط	۱/۱۵۰	ضعیف	عملکرد متصدیان نت/ تعمیرکاران	کیفیت نگهداری و تعمیرات
۱/۰۰۰	خوب	۱/۱۰۰	متوسط	۱/۱۵۰	ضعیف	کیفیت نگهداری کوتاه مدت و بلند مدت	
۱/۲۰۰	نامناسب	۱/۰۰۰	معمولی	۰/۸۵۰	مناسب	کیفیت محصول	شرایط کالا
۰/۸۶۲	زیاد	۱/۰۰۰	متوسط	۱/۱۸۷	کم	هزینه جایگزینی	
۱/۰۰۰	خوب	۱/۰۴۵	متوسط	۱/۱۰۰	ضعیف	امکانات مراکز تعمیراتی	
۱/۰۰۰	خوب	۱/۰۵۰	متوسط	۱/۲۳۵	ضعیف	کیفیت سوخت و روغن مصرفی	
۱/۱۷۵	بالا	۱/۰۰۰	معمولی	۰/۹۵۰	کم	سرعت شناور	

#### ۴- نتایج

جدول (۶) اطلاعات میانگین را برای عمر عملیاتی، عمر عملیاتی کارکردی و ضریب افزایش، برای نمونه‌های پایلوت ارائه می‌کند.

جدول (۷) اطلاعات میانگین را برای عمر عملیاتی باقیمانده، عمر عملیاتی کارکردی باقیمانده و انواع عمر استاندارد باقیمانده، برای نمونه‌های پایلوت ارائه می‌کند.

بر این اساس جدول (۸) نحوه پراکندگی نمونه‌های اجرایی آزمایشی را نشان می‌دهد.

با توجه به جدول فوق، سازمان می‌تواند برای موارد مستعمل، فرسوده و از رده خارج، برنامه تأمین پیش‌بینی کرده و در خصوص تعیین تکلیف موارد فرسوده و از رده خارج اقدامات مقتضی را انجام دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، در (۶) مورد، از خودرو بیش از عمر عملیاتی معادل، استفاده شده است که می‌توان برای خروج آنها از سازمان، اقدام نمود. همچنین برای خروج و جایگزینی (۵) مورد خودروی فرسوده نیز، می‌توان برنامه‌ریزی و برآوردهای اعتباری لازم را به‌عمل آورد.

مدل برای ۲۰ گروه کالایی در سازمان اجرا شد. برای این کار، فرم‌های جمع‌آوری داده‌ها برای ۱۳ یگان ارسال شده و از داده‌هایی از ۱۰ یگان در نرم‌افزار استفاده شد. این داده‌ها برای تجهیزاتی پر شد که کارکرد سال‌های قبل آن مشخص باشد یا تجهیزاتی که بیشتر دوره عمر خود در اختیار یک یگان بوده‌اند. همچنین برای ارزیابی صحت مدل، تجهیزاتی انتخاب شد که بیش از نیمی از عمر استاندارد آن گذشته باشد و جزء تجهیزاتی در حال استفاده و عملیاتی سازمان باشد. داده‌ها طی چند مرحله صحت‌گذاری و سپس در سیستم و نرم‌افزار پیاده‌سازی شد. در ادامه نتایج محاسبه شده برای نمونه‌های تغییر داده شده از پژو ۴۰۵ ارائه می‌شود (به علت مسائل امنیتی اعداد غیرواقعی شده‌اند).

جدول (۵) عمر تقویمی، کارکردی، عملیاتی، استاندارد باقیمانده، استاندارد باقیمانده عملیاتی، عملیاتی معادل باقیمانده و عملیاتی معادل باقیمانده کارکردی را نشان می‌دهد.

جدول (۵): نتایج عمر عملیاتی برای نمونه‌های پژو ۴۰۵

ردیف	عمر تقویمی		عمر کارکردی	عمر عملیاتی		عمر عملیاتی کارکردی		عمر استاندارد باقیمانده		عمر عملیاتی معادل باقیمانده کارکردی	
	سال	ماه		سال	ماه	سال	ماه	سال	سال	ماه	
۱	۱۲	۰	۱۲۳۵۶۴	۱۱	۱۱	۱۲۳۵۳۴	-۳	-۱۱	۱۲۶۴۶۵	-۳	-۱۱
۲	۱	۰	۹۵۴۱	۱۱	۰	۹۵۳۸	۷	۰	۲۴۰۴۶۱	۷	۰
۳	۱۶	۰	۱۳۵۲۰۰	۱۱	۱۵	۱۳۵۱۶۷	-۷	-۱۱	۱۱۴۸۳۲	-۷	-۱۱

جدول (۶): میانگین عوامل پایلوت

ضریب افزایش	عمر تقویمی		عمر کارکردی	عمر عملیاتی		عمر عملیاتی کارکردی
	سال	ماه		سال	ماه	
۱/۱۰۵	۶	۳	۱۱۴۷۶۴/۸۱	۶	۱۰	۱۳۶۱۴۱/۰۰

جدول (۷): میانگین عوامل پایلوت

میانگین	عمر استاندارد باقیمانده		عمر استاندارد باقیمانده کارکردی	عمر عملیاتی معادل باقیمانده	
	سال	ماه		سال	ماه
میانگین	۱	۲	۱۶۳۸۵۸/۰۸	۰	۱۱

جدول (۸): توزیع نمونه‌های جمع‌آوری شده

تعداد	نو	در حد نو	مستعمل	فرسوده	از رده خارج
۱	۴	۱۰	۵	۶	
۳/۸۵	۱۵/۳۸	۳۸/۴۶	۱۹/۲۳	۲۳/۰۸	



## ۴-۱- روایی مدل

برای ارزیابی صحت مدل، داده‌های ۲۰ نوع کالای مدل جمع‌آوری شد. این داده‌ها برای تجهیزاتی تکمیل شد که کارکرد سال‌های قبل آن مشخص باشد یا تجهیزاتی که بیشتر دوره عمر آنها در اختیار یک یگان بوده‌اند. همچنین برای ارزیابی صحت مدل، تجهیزاتی انتخاب شد که بیش از نیمی از عمر استاندارد آن گذشته باشد و جزء تجهیزات در حال استفاده و عملیاتی سازمان باشد. در جمع‌آوری داده‌ها، فیلدهایی نیز برای ارزیابی صحت مدل اضافه شد و داده‌ها توسط خبرگانی از آماد نیروها جمع‌آوری و صحت‌گذاری شد برای تست، فرم‌های جامع‌تری شامل فیلدهای کنترلی طراحی شد که در آن فیلد عمر معادل، بدون توجه به عمر واقعی و بدون توجه به شرایط استفاده از تجهیز، عمر معادل برای هر تجهیز بر اساس وضعیت ظاهری و فنی تجهیز طبق نظر خبره استعلام شد. این فیلد بیانگر این است که به نظر خبره، تجهیز از لحاظ ظاهری و فنی، "چند سال کارکرده" به نظر می‌رسد؟

در مقایسه عمر عملیاتی محاسبه شده توسط نرم‌افزار و فیلدهای کنترلی، از بین مواردی که فیلدهای کنترلی آنها توسط خبرگان تکمیل شده‌اند و از لحاظ کارکردی به‌طور مستمر استفاده شده باشند، مدل از اعتبار ۸۲ درصدی برخوردار بود.

## ۵- نتیجه‌گیری

تعیین عمر عملیاتی تجهیزات اهمیت ویژه‌ای در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی دارد. در این مقاله مدلی برای تعیین عمر استاندارد، عمر عملیاتی و عمر مفید باقیمانده ارائه شد. برای محاسبه عمر استاندارد، عمر عملیاتی و عمر باقیمانده، روش‌های مختلفی در مقالات ارائه شده است. با توجه به نوع داده‌ها و نیازها و کاربردهای مسئله در سازمان مدل مناسب طراحی شد. در این موضوع از مبحث عمر باقیمانده با توجه به وضعیت فعلی و روند گذشته آن، هزینه چرخه عمر برای تعیین عمر اقتصادی کالا، مباحث علم تصمیم‌گیری برای بهبود تصمیم‌گیری و انتخاب شاخص‌های مؤثر بر عمر عملیاتی کالاها و ضرایب مربوطه که مستلزم استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری گروهی به‌ویژه روش دلفی است، استفاده شد.

برای هر دسته از کالاها که برای آنها عمر مفید خدمتی محاسبه می‌شود، باید عمر استاندارد تعیین شود. عمر استاندارد پایه‌ای برای بقیه محاسبات به‌شمار می‌رود. بنابراین این عدد باید با دقت تعیین شود. عمر استاندارد با توجه به یکی از روش‌های

نظر سازنده، استانداردهای ملی، استانداردهای جهانی و ... استفاده از روش‌های تخمینی عمر بر اساس کالاهای مشابه یا بر اساس نظر خبرگان (روش دلفی) تعیین می‌شود. البته می‌توان بر اساس عمر اقتصادی (هزینه چرخه عمر) نیز عمل نمود که به علت نبود داده‌های هزینه‌ای دقیق، مورد استفاده قرار نگرفت.

پس از آنکه عمر استاندارد کالا بر اساس شرایط استاندارد و معمول سازمان محاسبه و تعیین شد، برای رسیدن به سطح واقع‌بینانه باید متغیرهای دیگر یعنی عوامل و شرایط مختلفی را مدنظر قرار داد که عمر مفید کالا را تحت تأثیر قرار می‌دهند. یعنی پس از تعیین عمر استاندارد با استفاده از تابع تبدیل عمر کارکردی و عمر تقویمی به عمر عملیاتی، عمر معادل با توجه به شرایط عملیاتی کالا، تعیین شد.

شرایط کارکردی و عوامل مؤثر بر آن از جمله وضعیت جغرافیایی، وضعیت آب و هوایی و... در فرسودگی و کاهش دقت، سرعت و... یا به‌طور کلی بر کارکرد کالا تأثیر می‌گذارند. این عوامل موجب کاهش یا افزایش عمر مفید نسبت به شرایط استاندارد می‌شود. بنابراین باید شاخص‌ها و نوع تأثیر آنها مشخص شود. شاخص‌های متعددی بر عمر مفید کالا مؤثر هستند، در انتخاب شاخص‌ها باید شاخص‌هایی انتخاب شوند که مؤثرتر و مفیدتر باشند و داده‌های مربوط به آنها قابل جمع‌آوری باشد. البته برای یک سیستم مناسب که در عین برخورداری دقت مناسب، پیچیده نباشد، باید تعداد مناسبی از شاخص‌ها انتخاب شوند. در مدل محاسبه عمر مفید خدمتی کالاها شاخص‌های مؤثر بر عمر هر کالا مشخص و سپس میزان تأثیرگذاری هر یک از آنها بر عمر عملیاتی کالا با تعیین میزان تغییر عمر در هر واژه، مشخص شد. مدل برای ۲۰ گروه کالایی اجرا شد و نتایج این مدل نشان از دقت ۸۲ درصدی این الگو داشت.

## تشکر و قدردانی

با سپاس فراوان از مسئول محترم مرکز تجهیز و استاندارد معاونت آماد و پشتیبانی که امکان انجام این تحقیق را فراهم آوردند.

- thermal power plant boilers under long-term service of 300,000 hours.*" Materials Science and Engineering: A 510-511: pp.142-148, 2009.
- [14] Murthy A. R. C., Palani G. S., "**Remaining life prediction of cracked stiffened panels under constant and variable amplitude loading.**" International Journal of Fatigue 29(6): pp.1125-1139, 2007.
- [15] Li Y. G., Nilkitsaranont P., "**Gas turbine performance prognostic for condition-based maintenance.**" Applied Energy 86(10): pp.2152-2161, 2009.
- [16] Fritzen C. P., Kraemer P., "**Self-diagnosis of smart structures based on dynamical properties.**" Mechanical Systems and Signal Processing 23(6): pp.1830-1845, 2009.
- [17] Wang W., "**A two-stage prognosis model in condition based maintenance.**" European Journal of Operational Research 182(3): pp.1177-1187, 2007.
- [18] Janjarasjitt S., Ocaik H., "**Bearing condition diagnosis and prognosis using applied nonlinear dynamical analysis of machine vibration signal.**" Journal of Sound and Vibration 317(1-2): pp.112-126, 2008.
- [19] Mazhar M. I., Kara S., "**Remaining life estimation of used components in consumer products: Life cycle data analysis by Weibull and artificial neural networks.**" Journal of Operations Management 25(6): pp.1184-1193, 2007.
- [20] Schneider J., Gaul A.J., "**Asset management techniques.**" International Journal of Electrical Power & Energy Systems 28(9): pp.643-654, 2006.
- [21] Dong M., He D., "**A segmental hidden semi-Markov model (HSMM)-based diagnostics and prognostics framework and methodology.**" Mechanical Systems and Signal Processing 21(5): pp.2248-2266, 2007.
- [22] Nanda A. K., Bhattacharjee S., "**Properties of proportional mean residual life model.**" Statistics & Probability Letters 76(9): pp.880-890, 2006.
- منابع
- [۱] جهانگیری محمدرضا، فلاح علی اکبر، "تکنولوژی تخمین عمر باقی مانده نیاز ضروری تعمیرات پیشگیرانه و بهبود عملکرد نیروگاه های آبی"، ماهنامه صنعت برق، شماره ۱۴۴، ۱۳۸۷.
- [۲] علیرضا آشتیانی، "تعیین عمر اقتصادی سه مدل تراکتور کشاورزی در ایران (مطالعه موردی شرکت زراعی دشت ناز مازندران)"، ۱۳۸۳.
- [۳] عدلی اکبر، رنجبر ایرج، محمدرضایی رسول، پیرانی نصراله، "عمر مفید کمپاین های متداول در منطقه مغان"، مجله دانش کشاورزی شماره ۱۳، ۱۳۸۲.
- [۴] صراف جوشقانی حسن، "تعیین اندازه نمونه در آزمون های ارزیابی مهمات"، اولین همایش دفاعی اندازه شناسی، ۱۳۸۸.
- [۵] نجمی محمدرضا، صراف جوشقانی حسن، "تحلیل دوره عمر مهمات (ایده استراتژی های عمر سازمانی)"، کنفرانس بین المللی نگهداری و تعمیرات، ۱۳۸۴.
- [6] Mohebbi H., Jesson D. A., "**The fracture and fatigue properties of cast irons used for trunk mains in the water industry.**" Materials Science and Engineering: A 527(21-22-۵۹۱۵): (5923-5915, 2010.
- [7] Siriwardane S., Ohga M., "**Application of new damage indicator-based sequential law for remaining fatigue life estimation of railway bridges.**" Journal of Constructional Steel Research 64(2): pp. 228-237, 2008.
- [8] Yin Y., Grondin G. Y., "**Fatigue life prediction of heavy mining equipment. Part 2: Behaviour of corner crack in steel welded box section and remaining fatigue life determination.**" Journal of Constructional Steel Research 64(1): pp.62-71, 2008.
- [9] Yeo I., Suh Y., "**Development of a remaining fatigue life model for asphalt black base through accelerated pavement testing.**" Construction and Building Materials 22(8): pp.1881-1886, 2008.
- [10] Mukhopadhyay S. K., Roy H., "**Development of hardness-based model for remaining life assessment of thermally loaded components.**" International Journal of Pressure Vessels and Piping 86(4): pp.246-251, 2009.
- [11] Swaminathan J., Guguloth K., "**Failure analysis and remaining life assessment of service exposed primary reformer heater tubes.**" Engineering Failure Analysis 15(4): pp.311-331, 2008.
- [12] Liu S.P., "**Remaining life assessment and optimal design of statically indeterminate pipe system with circumferential crack.**" International Communications in Heat and Mass Transfer 37(3): pp.266-273, 2010.
- [13] Moriyama K., Kanaya A., "**Estimation of material properties and maintenance of pressure parts of**