

# مدیریت ماشین آلات راهسازی و معدنی با استفاده از مدل تجمیع هزینه ها

مهندس مسعود حاتمی

کارشناس مرکز تحقیقات شرکت تولید تجهیزات سنگین (هپکو) - ایران

E-mail: hatami@hepcoir.com

مهندس خدیجه مفاخری

رئیس طرح و برنامه شرکت تولید تجهیزات سنگین (هپکو) - ایران

E-mail: mafakheri@hepcoir.com

## خلاصه مقاله

امروزه مدیریت ماشین آلات راهسازی از آنجایی که با مؤلفه های پیچیده ای روبروست، از مشاغل مشکل مدیریتی به شمار می رود. مؤلفه ها و متغیرهایی مانند: مدیریت منابع، حسابداری، مهندسی، تدوین خط مشی و پیش بینی وضعیت حال و آینده. هدف از این تحقیق، شناسایی و تشریح ابزاری است که بوسیله آن یک مدیر ماشین آلات راهسازی و معدنی بتواند در یک حاشیه امنیت مناسب اقدام به تصمیم گیری در خصوص: خرید ماشین - بازسازی ماشین - تعمیرات - جایگزین نمودن - اسقاط نمودن و غیره نماید. امید است بوسیله چشم اندازی که این تحقیق فراروی مدیران ماشین آلات قرار می دهد، بتوانند با مشاهده نقاط بحرانی تعمیر و نگهداری ماشین آلات راهسازی و معدنی، مناسبترین تصمیم را اتخاذ نمایند. غالباً مالک ماشین با تصمیمات اقتصادی پرهزینه و دشواری روبروست. هزینه هایی از قبیل: هزینه های مالکیت و نگهداری، هزینه های تعمیرات، پیش بینی زمان جایگزینی ماشین، و غیره. هدف این تحقیق، شناسایی و تبیین یک مدل رگرسیون می باشد تا به وسیله آن بتوان هزینه های تعمیرات ماشین را برحسب ساعات کارکرد، پیش بینی نمود. اطلاعات بدست آمده در این تحقیق از ۲۷۰ ماشین راهسازی که مربوط به ۴ شرکت متفاوت می باشند، استخراج شده است و در این خصوص ۱۹ مدل خطی و غیر خطی متناسب با این داده ها مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت یک معادله از ۱۹ مدل فوق، به عنوان بهترین مدل، انتخاب گردید. در پایان تحقیق و با استفاده از اطلاعات مذکور دو برنامه کامپیوتری در نرم افزار صفحه گسترده طراحی گردیده که با استفاده از آنها می توان زمان بازسازی و عمر بهینه اقتصادی ماشین را پیش بینی نمود.

## ABSTRACT

The management of heavy construction equipment is a difficult task. Equipment managers are often called upon to make complex economic decisions involving the machines in their charge. These decisions include those concerning acquisitions, maintenance, repairs, rebuilds, replacements, and retirements. . The equipment manager must also be able to forecast internal rental rates for their machinery. Repair and maintenance expenditures can have significant impacts on these economic decisions and forecasts. The purpose of this research was to identify a regression model that can adequately represent repair costs in terms of machine age in cumulative hours of use. The study was conducted using field data on 270 heavy construction machines from four different companies.

کلیدی: ماشین آلات راهسازی (Construction Equipment) - ماشین آلات معدنی (Mine Equipment) مدل مجموع هزینه ها (CCM) - شاخص مجموع هزینه ها (CCI)

در مقدمه بحث لازم است خوانندگان با مفهوم اساسی موضوع مدیریت ماشین آلات راهسازی آشنا شوند. در این بخش مقدمه ای از اصول اولیه این بحث را بیان

طبقه بندی هزینه ها در ماشین آلات راهسازی و معدنی

خواهیم نمود، سپس با وارد شدن به مفاهیم تخصصی تر موضوع را ادامه خواهیم داد. در ابتدای بحث لازم است با موضوع هزینه‌ها آشنا شویم.

هزینه‌های مالکیت، هزینه‌هایی هستند که با گذشت زمان همچنان وجود خواهند داشت، مانند هزینه‌های بیمه و مالیات. هزینه‌های مالکیت و نگهداری بهترین مثالی است که مانند یک تقویم شرح می‌دهد که در چه مقطعی از ماشین استفاده نمی‌شود. در یک بازه زمانی طولانی تر میتوان به یک مقطع زمانی برخورد نمود که، میانگین هزینه نگهداری ماشین در کمترین سطح خود می‌باشد و برعکس آن می‌توان به محدوده‌ای برخورد نمود که میانگین هزینه‌های یک ماشین در یک مقطع کوتاه به صورت نسبی زیاد می‌باشد.

در فرایند راه‌اندازی ماشین آلات ما با هزینه‌های روبرو هستیم که به آن هزینه‌های راه‌اندازی ( عملیاتی ) می‌گویند، و عبارتست از هزینه‌هایی که به صورت روزانه و در خلال استفاده از دستگاه بایستی پرداخت شود. اگر دستگاه در حالت بیکاری باشد، این هزینه صفر می‌باشد و اگر دستگاه به مدت زیادی روزانه کار نماید، این هزینه به صورت تصاعدی بالا خواهد رفت لذا این هزینه‌ها می‌توانند، بهترین تعریف برای واحد انجام کار باشند. برخی از این هزینه‌ها کم ولی دائمی هستند، مانند هزینه سوخت و هزینه نگهداری ولی از طرفی برخی دیگر از این هزینه‌ها که مبلغ بیشتری را شامل می‌شوند، هزینه‌های دوره‌ای هستند مانند: هزینه خرید تایرها، هزینه تعمیرات دوره‌ای و بازسازی. میانگین هزینه‌های بهره‌برداری در زمانی کمینه می‌باشد که دستگاه نو باشد. به تدریج هر چه عمر دستگاه بیشتر شود، این هزینه‌ها بیشتر خواهد شد. افزایش هزینه‌های نگهداری، همزمان با افزایش هزینه‌های بهره‌برداری، ما را با مفهوم عمر اقتصادی بیشتر آشنا می‌سازد. این مفهوم به صورت تئوریک بیانگر عمر بهینه ماشین می‌باشد و عبارتست از مدت زمانی که در آن، ترکیب میانگین هزینه‌های نگهداری و راه‌اندازی در کمترین حد قرار داشته باشند. برای تجزیه تحلیل دقیق عمر اقتصادی، بایستی به درک صحیحی از رفتار متغیرهای هزینه‌های مرتبط با نگهداری و راه‌اندازی نائل شویم.

### اهداف تحقیق

در این تحقیق سعی ما بر آن است تا به اهداف زیر نائل شویم:

- اطلاعات مربوط به تعمیر و نگهداری ماشین آلات راهسازی را جمع‌آوری و قاعده‌مند نمایم.
- با استفاده از یک متدولوژی تحلیلی موارد زیر را مشخص نمایم:
  - استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده
  - نمایش رگرسیون‌های مهم در توابع هزینه‌های تعمیرات و عمر ماشین
  - تعیین مقادیر معنی‌دار این رگرسیون
- تعیین یک متدولوژی جهت ترکیب معادلات رگرسیون جهت تشریح فرضیه سوم (CCM) در این صورت می‌توان به صورت جبری شاخص مجموع هزینه (CCI) را بدست آورد:

$$CCI_t = \frac{\text{مجموع هزینه‌ها}}{\text{قیمت خرید}}$$

- تفسیر اینکه چگونه می‌توان از CCM برای فرایند تصمیم‌سازی ماشین آلات اقتصادی بهره‌گرفت.

### فرضیات

در اینجا به فرضیاتی اشاره خواهیم نمود که قبل از شروع تحقیق لازم است یادآوری نمایم. شرح تفصیلی این فرضیات شامل موارد زیر می‌باشد:

- داده‌های اخذ شده از ماشین آلات عموماً بسته به نوع و گروه ماشینها طبقه‌بندی می‌شوند.
- داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از روشهای قابل اطمینان جمع‌آوری شده‌اند.
- سعی هر شرکت بر این است که خدمات یکسانی برای ماشین آلات خود ارائه نماید.
- مجموع ساعات کارکرد ماشین آلات به عنوان متغیر رگرسیون بکار می‌رود.
- مجموع هزینه‌های تعمیر و نگهداری به عنوان یک متغیر وابسته از مرکز منحنی توزیع نرمال معادله رگرسیون در محدوده بالای ساعات کارکرد استخراج می‌شود.
- واریانس این متغیر وابسته، فرض می‌شود که در بازه زمانی طول عمر ماشین و در مواردی که داده‌های کافی ارائه نشده باشد، ثابت است.
- مجموع هزینه‌های تعمیرات برای هر ماشین وقتی صفر می‌باشد که ساعات کارکرد ماشین صفر باشد.
- داده‌های جمع‌آوری شده ماشین آلات در حالت کلی: به طور کلی می‌توان گفت که هیچ ابزارآزمایی را نمی‌توان یافت که به وسیله آن و بدون هیچگونه نقص بتوان، نتایج دقیقی از یک مسأله علمی را مشاهده نمود. از این رو فقط می‌توان گفت نتایج این تحقیق می‌تواند تا مقدار زیادی به واقعیت نزدیک باشد، نه دقیقاً.

### اقتصاد ماشین آلات

آنچه که در مباحث قبلی اشاره گردید، در واقع سه مرحله کلی از چرخه حیات ماشین‌آلات راهسازی می‌باشد: خرید، استفاده و فروش.

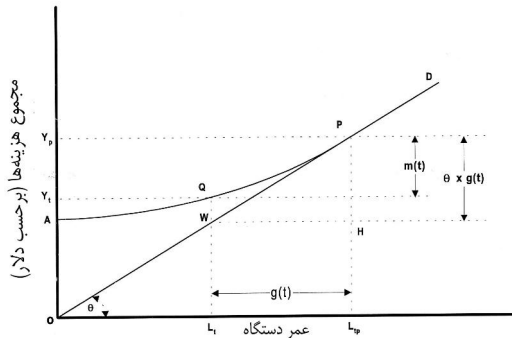
در فرایند خرید، به عنوان اولین مرحله، یک مدیر هنگامی مبادرت به این تصمیم می‌گیرد که امکان هزینه نمودن سرمایه‌گذاری را در این بخش داشته باشد. تصمیم به راه‌اندازی و استفاده از ماشین بلافاصله بعد از خرید ماشین و به هدف راه‌اندازی هر چه از زانتر ماشین، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و افزایش بهره‌وری، صورت می‌گیرد. به عنوان آخرین مرحله، فرایند فروش موقعی صورت می‌پذیرد که در چرخه حیات ماشین به نقطه‌ای برسیم که، از آن نقطه به بعد، نگهداری ماشین، توجیه اقتصادی نداشته باشد.

به صورت مجزا شاید درک هر یک از تصمیمات فوق‌آنقدر مشکل نباشد، اما پیچیدگی‌ها و متغیرهای مرتبط با هر یک کار را قدری مشکل می‌کند. شاید برای خرید یک ماشین جدید، هزینه‌های اپراتوری و کاهش عمر مفید یک دستگاه ناچار بهای سنگینی را بخواهیم پرداخت کنیم. به عنوان مثال ممکن است با افزایش هزینه بهره‌برداری از دستگاه به این نتیجه برسیم که باید تصمیم به فروش بگیریم، اما تصمیمات تعمیراتی در سطح بعدی اتخاذ می‌شود. وقتی که ماشین با یکی از اجزاء آن آسیب ببیند در این حالت ماشین مجدداً بایستی به حالت حاضر به کار درآید.

تصمیم به بازسازی و نوسازی مجدد ماشین موقعی اتخاذ می‌شود که به پایان عمر مفید کاری ماشین نزدیک می‌شویم، در این حالت مدیریت مطلوب ماشین آلات، اقتضاء می‌نماید تا تصمیم به جایگزینی ماشین نمایم. غالباً چنین تصمیماتی چند وجهی می‌باشند. چرا که مستقیماً تحت تأثیر کمیت‌های سرمایه‌گذاری و سودآوری قرار دارند. در این بخش به دو دسته از این تصمیمات خواهیم پرداخت:

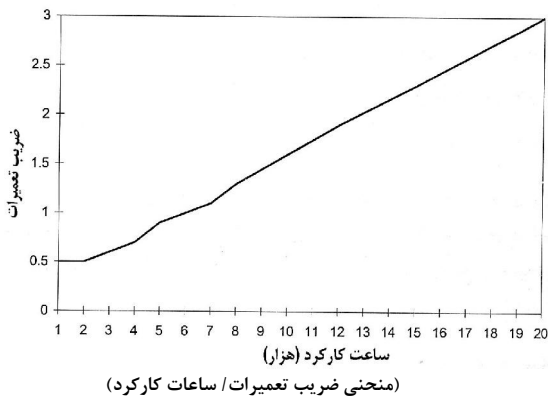
دسته اول عبارتست از آن دسته تصمیماتی که ماهیت عملیاتی دارند، مانند: چگونه می‌توان کارایی ماشین آلات را افزایش داد؟ و دسته دوم تصمیمات: آنهایی هستند که ماهیت مکانیکی دارند، مثلاً چگونه می‌توان از کارایی ماشین اطمینان حاصل

محدوده مالی که صرف تعمیرات یک ماشین می‌شود، در یک بازه زمانی چقدر است و چه ارتباطی بین این هزینه و نوع ماشین، عمر ماشین و موقعیت جغرافیایی کارکرد ماشین وجود دارد.



**۴) تئوری نیکولز (Nichols):** هربرت نیکولز در سال ۱۹۷۶ در کتاب خود با نام حرکت زمین (Moving The Earth) به صورت تحلیلی، مدلی را ارائه نمود که هزینه تعمیرات را پیش‌بینی می‌نمود.

وی در این کتاب بیان نمود که هزینه تعمیرات در ساعت را با استفاده از فاکتورهای: نوع ماشین، مجموع ساعات کارکرد، سالهای مفید کاری، حرارت و شرایط کارکرد، کیفیت نگهداری، نوع استفاده، سبک اپراتوری و سرعت کار می‌توان بدست آورد. این فاکتورها را ابتدا در یکدیگر ضرب و سپس در یک هزارم قیمت خرید ماشین ضرب می‌کنیم تا هزینه یک ساعت بدست آید. ضریب هزینه تعمیرات نیکولز به عنوان یک تابع خطی با گذشت ساعات کارکرد، افزایش می‌یابد.



هریک از نظریه‌های فوق شاید به تنهایی نتوانند پاسخگویی جنبه‌های متفاوت و ترکیب نمودن آنها در یک مجموعه، به پاسخگویی جنبه‌های متفاوت موضوع باشند، اما تئوری مجموع هزینه‌ها، به پاسخگویی به سؤال فوق می‌پردازد. این تئوری در سال ۱۹۸۰ توسط آقای پروفیسور مایک ورستر (Mike Vorster-1980) ارائه گردید.

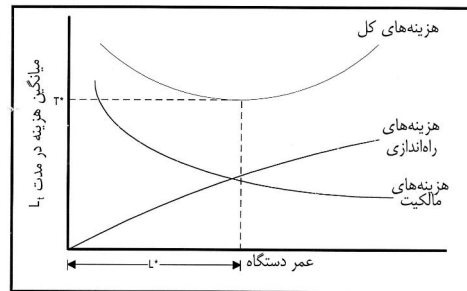
**معرفی مدل مجموع هزینه‌ها:** این مدل برخلاف سایر مدل‌ها، با دارا بودن ویژگی نمایش گرافیکی، این امکان را فراهم می‌کند، که در خصوص نحوه تغییرات مجموع هزینه‌ها، میانگین هزینه‌ها و هزینه‌های بحرانی، به درک بهتری نائل شویم. از این مدل همچنین می‌توان مفاهیم کمینه کردن هزینه‌ها و یا بیشینه کردن سود

نمود؟ در این مقاله سعی ما بر آن است که بر روی مباحث اقتصادی ماشین آلات تمرکز بیشتری نمایم.

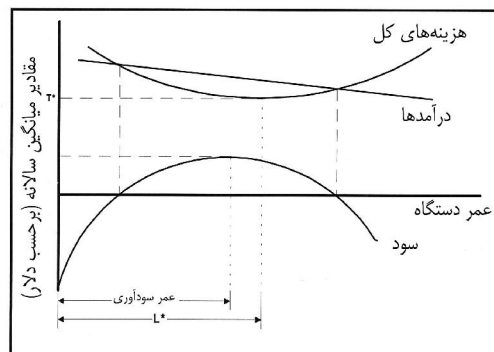
## ارزیابی و تبیین تئوری‌های مربوط به برآورد هزینه تعمیرات ماشین آلات راهسازی و معدنی

**۱) تئوری کاهش هزینه:** این تئوری را می‌توان به راحتی به صورت یک نمودار گرافیکی نمایش داد. همانطوریکه در فصل اول این کتاب بیان گردید، هزینه‌های مرتبط با ماشین‌آلات را عموماً می‌توان به دو دسته کلی تقسیم‌بندی نمود: هزینه‌های مالکیت (هزینه‌های اولیه) و هزینه‌های راه‌اندازی (هزینه‌های ثانویه). میانگین هزینه مالکیت که برای هر ماشین پرداخت می‌شود به ازای گذشت زمان، کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر بیشترین هزینه‌ای که برای مالکیت یک ماشین پرداخت می‌شود، در هنگام خرید به مالک آن تحمیل می‌شود. با گذشت زمان، قیمت خرید ماشین در یک گستره زمانی سرشکن خواهد شد، بنابراین میانگین هزینه‌های مالکیت سیری نزولی خواهد داشت.

میانگین هزینه‌های راه‌اندازی، با گذشت زمان دارای یک سیر صعودی خواهد بود. به عبارت دیگر یک ماشین نو، به ندرت ممکن است نیاز به تعمیرات داشته باشد، اما یک ماشین در حین انجام کار ممکن است، نیاز به تعمیرات مکرر داشته باشد.



**۲) تئوری بیشینه کردن سود:** تئوری دیگری که در خصوص راه‌حل، چگونگی جایگزینی ماشین‌آلات ارائه گردیده، تئوری بیشینه کردن سود می‌باشد که توسط هارولدها تلینگ (Hotelling-1925) ارائه گردید. در شکل زیر این تئوری به صورت یک نمودار گرافیکی بیان گردیده است.



در این شکل سه منحنی ترسیم گردیده است، منحنی هزینه کل، منحنی درآمدها و منحنی سود. میانگین درآمدها براساس درآمدهای حاصله از دارایی‌های یک شرکت بدست می‌آید و میانگین سود از اختلاف بین میانگین درآمدها و میانگین هزینه‌ها، بدست می‌آید. بهینه‌ترین نقطه عمر اقتصادی ماشین وقتی است که: منحنی سود در بیشینه‌ترین حالت خود قرار دارد.

**۳) تئوری محدوده تعمیرات:** این تئوری که با تئوری‌های پیشین ماهیتاً تفاوت دارد در سال ۱۹۶۷ توسط آقای هاستینگ مطرح شد (Hastings 1967) و به تئوری محدوده تعمیرات معروف است. این تئوری مشخص می‌کند که:



که در آن:

شاخص مجموع هزینه ها  $CCI =$

$X =$  مجموع ساعات کارکرد  $1000 /$

ضرایب معین حاصله از رگرسیون  $\beta_1, \beta_2 =$

همانطوریکه در معادله فوق مشاهده می شود این معادله از دو مؤلفه  $\beta_1 X$  و  $\beta_2 X^2$  تشکیل شده است که در آن  $\beta_1 X$  جزء ثابت هزینه های تعمیرات می باشد. این مؤلفه بیانگر این است که یک شرکت چگونه هزینه های ضروری مربوط به یک ناوگان ماشین آلات خود را کنترل و مدیریت می کند. مقادیر کم این مؤلفه حاکی از این مطلب است که، یک شرکت پول زیادی را به هزینه های تعمیر و نگهداری فعالیت های روزمره خود اختصاص نمی دهد. در مقابل، مقدار زیاد این مؤلفه گویای این است که یک شرکت مقدار پول ثابتی را به ناوگان ماشین آلات خود اختصاص داده است.

مؤلفه  $\beta_2 X^2$  در معادله، نشانگر این است که، یک شرکت چگونه نرخ رشد هزینه هایش را کنترل می کند. مقدار زیاد این مؤلفه، دلالت بر رشد سریع هزینه ها دارد و مقدار کم آن حاکی از مدیریت مطلوب هزینه ها می باشد. این رشد هزینه ها عامل تعیین کننده ای جهت تعیین عمر اقتصادی بهینه ( $L^*$ ) هر ناوگان می باشد. مسأله جالب توجه در این خصوص، این است که رابطه معنی داری را می توان بین این دو مؤلفه در هر ناوگان مشاهده نمود به این صورت که در هر ناوگان، مشاهده نمود به این صورت که در هر ناوگان، به ازای کاهش مقدار  $\beta_1 X$  شاهد افزایش  $\beta_2 X^2$  می باشیم.

در پایان نتیجه می گیریم که:

« هرچه یک شرکت در طول حیات خود، در بخش مربوط به تعمیر و نگهداری ماشین آلات خود سرمایه گذاری نماید، باعث می شود که در اثر افزایش عمر اقتصادی ماشین آلات، نرخ رشد هزینه های شرکت کاهش یابد.»

#### نتیجه گیری:

هدف این تحقیق شناسایی و تبیین یک مدل رگرسیونی می باشد تا به وسیله آن بتوان هزینه های تعمیرات ماشین را برحسب ساعات کارکرد، پیش بینی نمود. اطلاعات بدست آمده در این تحقیق از ۲۷۰ ماشین راهسازی که مربوط به ۴ شرکت متفاوت می باشند، استخراج شده است و در این خصوص ۱۹ مدل خطی و غیر خطی متناسب با این داده ها مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت یک معادله از ۱۹ مدل فوق، به عنوان بهترین مدل، انتخاب گردید.

لازم به ذکر است که در پایان تحقیق یک برنامه کامپیوتری ارائه گردیده است که مدیران ماشین آلات، با استفاده از آن برنامه و اطلاعات بدست آمده از ماشین آلات خود می توانند، از آن به عنوان ابزاری جهت اخذ تصمیمات اقتصادی بهتر، بهره مند شوند. متأسفانه به دلیل محدودیت های موجود امکان معرفی این برنامه در متن مقاله میسر نگردید. علاقمندان این بحث جهت دریافت اطلاعات تکمیلی و دریافت رایگان این برنامه، می توانند با آدرس نویسندگان مقاله مکاتبه نمایند.

#### REFERENCES:

Collier, C. A., Jacques, D. E. (1984). "Optimum equipment life by minimum life-cycle costs," *Journal of Construction Engineering and Management*, 110 (2), 248-265.

Cost Reference Guide for Construction Equipment. (1996). K-III Directory Corporation, San Jose, CA.

Cox, E. A. (1971). "Equipment Economics." *Handbook of Heavy Construction*, J. A. Havers and F. W. Stubbs, eds., McGraw-Hill, New York, NY.

Douglas, J. (1970). "Replace For More Profit." *Construction Methods and Equipment*, Mar. & Apr. 1970.

Douglas, J. (1975). *Construction Equipment Policy*. McGraw-Hill, New York, NY.

Fabricant, S. (1976). "Economic Calculation Under Inflation: The Problem in Perspective."

*Economic Calculation Under Inflation*, Liberty Press, Indianapolis, IN.

*Green Guide for Construction Equipment*. (1996) K-III Directory Corporation, San Jose, CA.

Hanke, J. E., Reitsch, A. G. (1995). *Business Forecasting*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Harris, F. C., and Olomolaiye, P. O. (1993). "A theoretical model for determining equipment service life." *Building Research and Information*, E. & F. N. Spon, 21(4), 243-245.

Jaafari, A., Mateffy, V. K. (1990). "Realistic Model for Equipment Replacement", *Journal of*

*Construction Engineering and Management*, ASCE, 116 (3), 514-532.

Montgomery, D. C., Peck, E. A. (1992). *Introduction to Linear Regression Analysis*. John Wiley & Sons, New York, NY.