Journal of Mineral Resources Engineering, 8(1): 55-69, (2023)

Imam Khomeini International University
Vol. 8, No. 1, Spring 2023

نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering (JMRE)

Research Paper

Evaluation of the Economic Performance Index for Loading and Hauling Fleet in Open-Pit Mines

Akbarzadeh M.R.[1], Jalali S.E.[2*], Khademian A.[3], Nabizadeh M.A.[4]

1- M.Sc, Faculty of Mining, Petroleum & Geophysics Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
2- Associate Professor, Faculty of Mining, Petroleum & Geophysics Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
3- Assistant Professor, Faculty of Mining Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran
4- M.Sc, Engineering Office Arman Gohar Sirjan Company Sirjan, Kerman, Iran

Received: 14 Dec. 2021 **Accepted: 15 Mar. 2022**

Abstract: Loading and hauling operations have the highest share of the production costs of open-pit mines. Therefore, in choosing the loading and hauling machines, paying attention to the economic aspects is necessary. For a better understanding of the financial performance of mining machinery, various performance indicators have been proposed by researchers. This research presents a special form of economic performance index, which indicates the ratio of each machine's revenue to its total cost. For this purpose, the cost and revenue of the transport fleet, including dump trucks, mining shovels, and backhoe excavators, were collected for two years (From September 2017 to September 2019) and determined. As the first step, the total cost and the amount of revenue from the operation of each machine then, the Economic Performance Index (EPI) for each of the loading and hauling machines is calculated and compared with each other. The results show that Backhoe excavators perform better than mining shovels. In addition, by examining different trucks from different manufacturers, it was found that C100 series trucks have the best performance among all trucks. Its average economic performance index value for each of those trucks is 2.82.

Keywords: Open-pit mines, loading and hauling machinery, Economic performance index, Revenue, Cost.

How to cite this article
Akbarzadeh, M. R., Jalali, S. E., Khademian, A., and Nabizadeh, M. A. (2023). *"Evaluation of the economic performance index for loading and hauling fleet in open-pit mines"*. Journal of Mineral Resources Engineering, 8(1): 55-69.
DOI: 10.30479/JMRE.2022.16637.1567

*Corresponding Author Email: *Jalalisme@shahroodut.ac.ir*

COPYRIGHTS
©2023 by the authors. Published by Imam Khomeini International University.
This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCTION

The transport system is the most critical operational unit in mining and mineral industries, especially open-pit mines. Loading and hauling machinery in open-pit mines account for a significant share of costs. Therefore, in choosing mentioned machines, not only should it be necessary to ensure continuous production in the mine, but it is also necessary to select the machine to cost less. In this paper, the loading and hauling fleet of one of Iran's largest open-pit iron ore mines (with a mining capacity of about 100 million tons per year) were analyzed in terms of cost (ownership and operating costs) and revenue for two years. Then, the overall performance index of each transport unit was defined by dividing their revenue by their total cost [1-3].

METHODS

In this research, a particular form of the Economic Performance Index is presented, which indicates the ratio of each machine's revenue to its total cost. For this purpose, the cost and revenue of the transport fleet, including dump trucks, mining shovels, and backhoe excavators, were collected for two years (From September 2017 to September 2019). So first, the total cost and the amount of revenue from the operation of each machine are determined. Then, the Economic Performance Index for each of the loading and hauling machines is calculated and compared with each other. So, if the economic performance index of 1.42 is selected as a profit threshold indicator, values greater than this number indicate a profitable utilization, while a performance index less than 1.42 indicates that the mine is not profiting from the performance of the machine.

FINDINGS AND ARGUMENT

According to the total cost and revenue analysis, the Economic Performance Index for hauling and loading machinery is identified and evaluated. Figure 1 shows the average value of revenue and total cost for each machine, and also the economic performance of the mining transportation system is shown in Figure 2.

As can be seen in Figures 1 and 2, the highest cost and revenue among the trucks belong to C100 trucks, with an average total cost and two-year revenue of 49.58 and 139.06 billion rials, respectively. However, the C100 trucks have the best performance of all trucks, with an average Economic Performance Index of 2.82 for each of these trucks. For loading machines, it can be seen that excavators have lower costs and revenue than shovels due to their lower capacity and more straightforward repair system, but they have better economic performance.

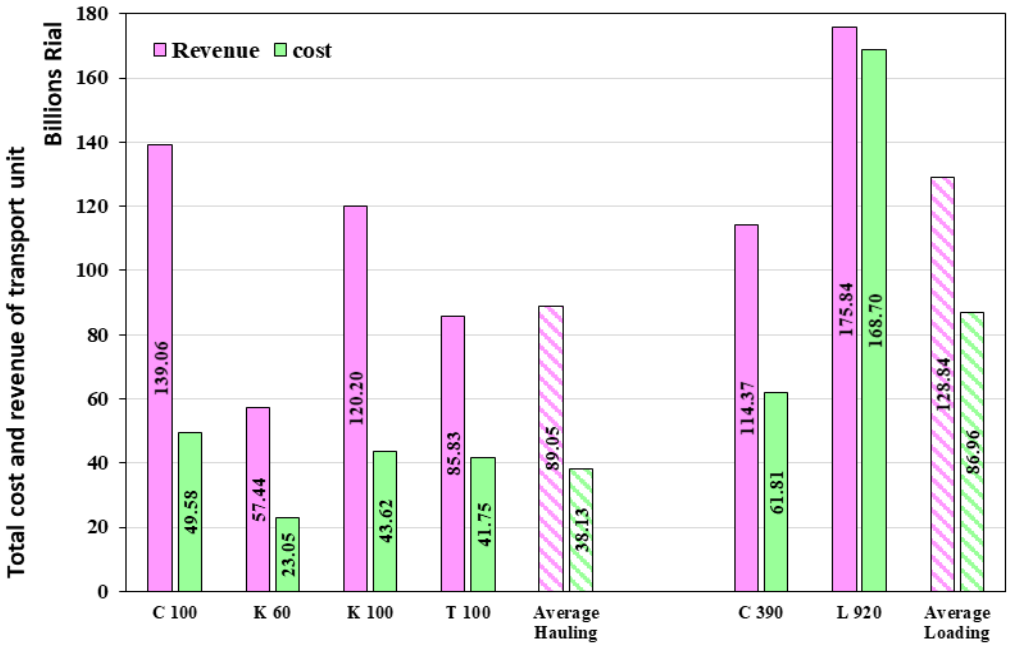


Figure 1. Average revenue and cost of all loading and hauling machinery over two years

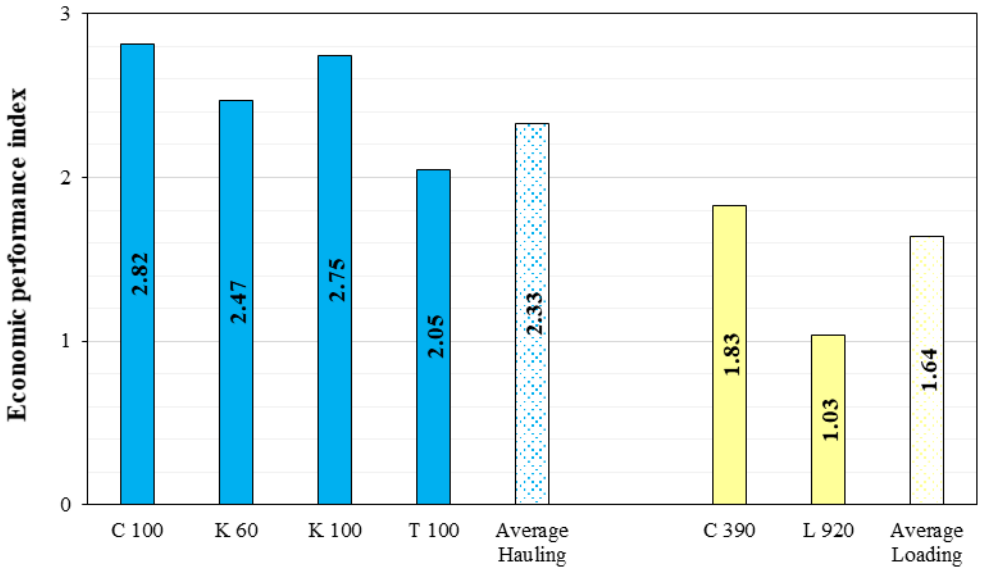


Figure 2. Economic performance index of loading and hauling machinery

CONCLUSIONS

Loading and hauling operations have the highest share of the production costs of open-pit mines. Therefore, in choosing the loading and hauling machines, paying particular attention to the economic aspects is necessary. This research presents a unique form of economic performance index, which indicates the ratio of each machine's revenue to its total cost. It should be noted that the type of hauling operation of each truck (ore and waste) has had an impact on the revenue, and also, the loading capacity has a direct influence on cost and revenue. According to the analysis of total cost and revenue, the economic performance index for hauling and loading machinery is identified and evaluated. Hauling trucks have almost the same total cost but different revenue, except K60 trucks, which have lower costs and revenue due to their lower capacity than other trucks. Specifically, any truck that works longer times at a specified given hour and is less repaired will earn more. The average value of the performance index for each truck equals 2.33, which is a moderate value and considered almost suitable performance. The average economic performance index of loading machines is 1.64, with poor performance and very little revenue, which requires more attention and technical management.

REFERENCES

[1] Hartman, H. L., and Mutmansky, J. M. (2002). *"Introductory mining engineering"*. John Wiley & Sons.

[2] Noakes, M., and Lanz, T. (1993). *"Cost estimation handbook for the Australian mining industry"*. Political Science. DOI: 10.1016/0148-9062(94)91320-x.

[3] Lowrie, R. L. (Ed.). (2002). *"SME mining reference handbook"*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, pp. 464.

نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering (JMRE)

دانشگاه بین المللی امام خمینی
IMAM KHOMEINI INTERNATIONAL UNIVERSITY

دوره هشتم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، صفحه ۵۸ تا ۶۹
Vol. 8, No. 1, Spring 2023, pp. 58-69

علمی-پژوهشی

ارزیابی شاخص عملکرد اقتصادی برای ماشین‌آلات ناوگان ترابری معادن روباز

محمدرضا اکبرزاده ارپاچائی[۱]، سید محمد اسماعیل جلالی[۲*]، امیر خادمیان[۳]، محمدعلی نبی‌زاده[۴]

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک سنگ، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود
۲- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود
۳- استادیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز
۴- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی استخراج معدن، مدیریت فنی و مهندسی شرکت آرمان‌گهر سیرجان، کرمان

دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۳ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۴

چکیده

بارگیری و باربری بالاترین سهم را در هزینه‌های تولیدی معادن روباز به خود اختصاص می‌دهند، بنابراین در انتخاب ناوگان ماشین-آلات بارگیری و باربری ضروری است که به جنبه‌های اقتصادی توجه ویژه‌ای شود. برای درک بهتر از عملکرد اقتصادی ماشین‌آلات ترابری معادن، تاکنون شاخص‌های عملکردی گوناگونی توسط محققان ارایه شده است. در این پژوهش، شکل ویژه‌ای از شاخص عملکرد اقتصادی ارایه شده که بیان‌گر نسبت مقدار درآمد تحصیل شده به وسیله هر یک از ماشین‌آلات بر هزینه کل است. به این منظور با تمرکز بر روی ناوگان بارگیری و حمل در یک معدن روباز مشتمل بر ۸۷ کامیون معدنی (۶۴ عدد ماشین ۱۰۰ تنی و ۲۳ عدد ماشین ۳۶ تنی) و همچنین ۱۸ ماشین بارکننده (۱۳ عدد بیل مکانیکی و ۵ عدد شاول) به ارزیابی شاخص عملکرد اقتصادی ماشین‌آلات ناوگان ترابری یاد شده پرداخته شده است. به این منظور، در ابتدا هزینه کل و میزان درآمد حاصل از عملکرد هر یک از ماشین‌آلات با توجه به اطلاعات اقتصادی در دسترس برای هر ماشین، مشخص شده است، سپس شاخص عملکرد اقتصادی برای هر یک از ماشین‌آلات باربری و بارگیری محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهند که بیل‌های مکانیکی به دلیل داشتن ظرفیت پایین و کم بودن زمان تعمیرپذیری آن‌ها نسبت به شاول‌ها، عملکرد بهتری دارند. علاوه بر این، با بررسی برند ماشین‌های مختلف مشخص شد که کامیون‌های سری C 100 بهترین عملکرد را در بین کل کامیون‌های باربری داشته و مقدار شاخص عملکرد آن به طور متوسط برای هر یک از آن کامیون‌ها ۲٫۸۲ است.

کلمات کلیدی

معادن روباز، عملکرد اقتصادی، هزینه، درآمد، ماشین‌آلات ترابری.

استناد به این مقاله
اکبرزاده ارپاچائی، م. ر.،جلالی، س. م. ا.، خادمیان، ا.، نبی‌زاده، م .ع.؛ ۱۴۰۲؛ "**ارزیابی شاخص عملکرد اقتصادی برای ماشین‌آلات ناوگان ترابری معادن روباز**". نشریه مهندسی منابع معدنی، دوره هشتم، شماره ۱، ص ۶۹-۵۵.

DOI: 10.30479/JMRE.2022.16637.1567

*نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: Jalalisme@shahroodut.ac.ir

حق‌مؤلف © نویسندگان
ناشر: دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

۱- مقدمه

انتخاب ماشین‌آلات ترابری بخش مهمی از مراحل اولیه در یک پروژه و از وظایف مدیران پروژه است. انتخاب نادرست ماشین‌آلات، پیامدهای ناخوشایندی مانند افزایش زمان و هزینه پروژه و کیفیت نامطلوب اجرای پروژه را در پی خواهد داشت. از سوی دیگر، ماشین‌آلات ترابری در معادن روباز سهم قابل توجهی از هزینه‌ها را به خود اختصاص می‌دهند. به همین دلیل در انتخاب این ماشین‌آلات نه تنها باید به تامین تولید یکنواخت در معدن توجه کرد، بلکه لازم است انتخاب ماشین‌آلات به گونه‌ای باشد که هزینه کمتری را به پروژه تحمیل کند.

برای توفیق در بیان روش ارایه شده در این مقاله، روش یاد شده در یک معدن روباز بزرگ (معدن مورد نظر یکی از معادن بزرگ سنگ آهن با ظرفیت معدنکاری حدود ۱۰۰ میلیون تن بر سال است) پیاده شد. بر این اساس، اطلاعات مربوط به یک بازه زمانی دو ساله (از ابتدای مهر ۹۶ تا انتهای شهریور ۹۸) در خصوص دو پارامتر هزینه کل (مجموع هزینه‌های مالکیت و عملیاتی) و درآمد مبنای کار قرار گرفته شده و شاخص عملکرد کلی هر یک از ماشین‌آلات ترابری، با تقسیم کردن مقدار درآمد هر یک از ماشین‌آلات بر هزینه کل آن‌ها، تعریف شده است.

سیستم ناوگان حمل و نقل در معدن مورد نظر را می‌توان متشکل از دو زیرسیستم بارگیری و باربری دانست. از نظر ساختار شبکه‌ای می‌توان این دو سیستم را به صورت سری با یکدیگر در نظر گرفت. سیستم بارگیری نیز به نوبه خود از دو زیرسیستم تشکیل شده است که مشتمل بر شاول‌ها و بیل‌های مکانیکی است. زیرسیستم شاول‌ها نیز از ۵ شاول تشکیل شده است. همه ماشین‌آلات بارگیری به صورت موازی با یکدیگر عمل می‌کنند. سیستم باربری را نیز می‌توان متشکل از چهار زیرسیستم دانست که هریک از این زیرسیستم‌ها در حقیقت یک برند از کامیون‌های معدنی هستند. این چهار زیرسیستم شامل کامیون‌های T 100، K 60، C 100 و K 100 هستند. هر یک از این زیرسیستم‌ها نیز شامل چندین کامیون‌اند. از نظر ساختار شبکه‌ای، همه کامیون‌های موجود در بخش باربری به صورت موازی با یکدیگر تعریف می‌شوند.

در این مقاله در ابتدا، هزینه‌های مالکیت و عملیاتی برای ماشین‌آلات ترابری محاسبه و تحلیل شده است. برای توصیف و تشریح بیشتر نحوه محاسبه هزینه‌ها، یک مثال از روند محاسبات هزینه مالکیت و هزینه عملیاتی یکی از کامیون‌های سری T 100 ذکر شده است، سپس با توجه به فهرست آمار بها درآمد حاصل از هر یک از ماشین‌ها محاسبه شده است. در بخش پایانی نیز به برآورد و محاسبه شاخص عملکرد اقتصادی هر یک از ماشین‌آلات باربری و بارگیری پرداخته شده است و این شاخص‌ها با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

تاکنون پژوهش‌های مختلفی برای دسته‌بندی روش‌های برآورد هزینه انجام شده است. در این پژوهش‌ها، طبقه‌بندی‌ها بر اساس برخی ویژگی‌های فرآیند برآورد هزینه انجام گرفته است. برای مثال در برخی از رویه‌ها، دسته‌بندی بر اساس نوع داده‌های ورودی انجام گرفته و در برخی دیگر، فرآیند برآورد، مبنای طبقه‌بندی قرار گرفته است. برای مثال بوهم[۱] روش‌های برآورد هزینه را با دسته‌بندی الگوریتمی قضاوت خبرگان، مقایسه‌ای مدل مارکو و روش از پایین به بالا معرفی می‌کند [۱]. ژانک[۲] و همکارانش روش‌های برآورد هزینه را به دسته‌های تفکیک جزیی سنتی، تفکیک ساده شده، بر پایه تکنولوژی گروهی، رگرسیون محور و فعالیت محور دسته‌بندی کرده‌اند [۲]. کیان و بن‌آریه[۳] این دسته‌بندی را به صورت شهودی، قیاسی، پارامتری و تحلیلی انجام داده‌اند [۳]. شهاب و آبدیلا[۴] به ذکر دسته‌های شهودی، پارامتری، متغیر محور و تولیدی، بدون ارایه تعریف دقیقی از آنها پرداخته‌اند [۴]. همین نویسندگان روش‌های تخمین هزینه مربوط به مراحل اولیه طراحی پروژه را در دسته‌های دانش محور، ویژگی محور، فعالیت محور و عملکرد محور قرار داده‌اند [۵]. روی[۵] پنج روش سنتی، پارامتریک، ویژگی محور، مورد محور و شبکه‌های عصبی و شبکه‌های مصنوعی را معرفی کرده است [۶]. کاوالیری[۶] سه رویکرد مقایسه محور، پارامتری و مهندسی را برای طبقه‌بندی روش‌های تخمین هزینه ارایه کرده است [۷]. پژوهش‌های یاد شده بر اساس شباهت‌های میان روش‌ها به طبقه‌بندی آنها پرداخته‌اند و در آن‌ها توجهی به تفاوت‌های موجود بین روش‌ها در هر دسته نشده است. از این رو این طبقه‌بندی‌ها در مواردی که هدف اصلی انتخاب روش مناسب برای تخمین هزینه‌ها است، کارآیی کافی را نخواهند داشت.

نیازی در سال ۲۰۰۸، رویکردی را با عنوان سیستم دسته‌بندی سلسله مراتبی روش‌های برآورد هزینه (HCS)[۷] ارایه داد. در این رویکرد علاوه بر ارایه تعریفی دقیق برای هریک از دسته‌ها و روش‌های برآورد هزینه موجود در آنها، مشکل موجود در پژوهش‌های پیشین رفع شده است و در

دسته‌بندی جدید به طور هم‌زمان شباهت‌ها و تفاوت‌های موجود بین روش‌ها، مبنای طبقه‌بندی قرار گرفته‌اند. بر این اساس، روش‌های تخمین هزینه به دو دسته کلی کیفی و کمی تقسیم شده‌اند [۸].

روش‌های کیفی تخمین هزینه اصولا بر پایه مقایسه میان محصولی جدید با محصولات تولیدی پیشین، برای تشخیص شباهت‌های موجود در محصول جدید با نمونه‌های قبلی بنا شده است. به این ترتیب، هزینه‌های محاسبه شده در محصولات پیشین با استفاده از شباهت‌های تعیین شده برای محصول جدید تعدیل شده و هزینه‌ها به صورت مناسبی برآورد می‌شوند. گاه این فرآیند به وسیله مجموعه‌ای از اطلاعات که در قالب ساز و کاری قانون محور یا درخت تصمیم‌گیری و یا رویکردهای مشابه گردآوری شده‌اند، انجام می‌گیرد. همچنین می‌توان از داده‌های مربوط به موارد پیشین آن‌ها برای این برآوردها استفاده کرد. برای مثال، مدل‌های تحلیل رگرسیون و رویکردهای شبکه عصبی مصنوعی به خوبی به پیش‌بینی هزینه‌ها بر اساس داده‌های پیشین می‌پردازند. به صورت کلی روش‌های کیفی، کاربر را در دستیابی به تخمینی نزدیک به واقع از هزینه‌ها در مراحل اولیه کار یاری می‌کنند [۹].

روش‌های کمی به دو شاخه شهودی و مقایسه‌ای تقسیم می‌شوند. روش‌های کمی برآورد هزینه مبتنی بر تحلیل جزیی فرآیندها و وضعیت‌های حاکم بر تولید بوده و بر خلاف روش‌های کیفی از ساده‌سازی روند بر پایه اعتماد به داده‌های مربوط به محصولات تولیدی پیشین خودداری می‌کنند [۱۰]. به این ترتیب هزینه‌ها بر اساس تابعی تحلیلی متشکل از متغیرهایی که هر یک بیان‌گر یک ویژگی خاص از محصول‌اند، تخمین زده می‌شوند. نتایج حاصل از این روش‌ها دقیق‌تر و کاربرد معمول آنها محدود به مراحل نهایی چرخه طراحی است. روش‌های کمی برآورد هزینه به دو زیرشاخه پارامتری و تحلیلی تقسیم می‌شوند [۱۱].

در زمینه‌های برآورد هزینه‌های معدنی، پژوهش‌های مختلفی انجام شده است که در ادامه به مواردی از این روش‌ها پرداخته شده است.

۱-۱- مدل مولار[۸]

مولار در سال‌های ۱۹۸۲ و ۱۹۹۸، به بررسی نحوه برآورد هزینه‌های مالکیت معدن‌ها (زیرزمینی و روباز) و همچنین محاسبه هزینه‌های کانه‌آرایی پرداخته است. در این مدل از توابع نمایی هزینه استفاده شده است. در این روش هزینه‌های مالکیت معدن، بدون در نظر گرفتن هزینه‌های تجهیزات معدن، مورد توجه قرار گرفته است [۱۲].

۱-۲- مدل USBM[۹]

این مدل توسط اداره معادن ایالات متحده آمریکا در سال ۱۹۸۷، ارایه شده است. در این روش برای برآورد هزینه‌های مالکیت و عملیاتی معدن، از یک سری ضرایب، نمودار و جداول استفاده شده است. این مدل نیازمند اطلاعاتی از قبیل شرایط روباز و یا زیرزمینی بودن معدن، جنس زمین، اطلاعات خردایش، اطلاعات اکتشافی و همچنین روش‌های استخراج مواد معدنی است [۱۳].

۱-۳- مدل اوهارا[۱۰]

اوهارا در سال ۱۹۸۰، به برآورد هزینه‌های معدن‌کاری روباز، زیرزمینی و فرآوری مواد معدنی در این مدل پرداخته است [۱۴]. در این مدل با اطلاعاتی از قبیل نرخ تولید، ناوگان ترابری معدن، ظرفیت تولید و نیروی انسانی معدن، به محاسبه هزینه‌های معدن پرداخته می‌شود. در نهایت توان تولید و هزینه مالکیت معدن به ازای هر تن محاسبه می‌شود.

۱-۴- مدل AusIMM[۱۱]

در سال ۱۹۹۳، این مدل توسط نوکس و لنز[۱۲] در کتاب برآورد هزینه برای صنایع معدنی استرالیا ارایه شده است. هزینه‌ها در این مدل به دو دسته سرمایه‌ای و عملیاتی تقسیم می‌شوند. در قسمت هزینه‌های سرمایه‌ای به مواردی از قبیل معدن‌کاری سطحی و زیرزمینی، فرآوری، استخراج انحلالی و تجهیزات معدن پرداخته شده است. ضرایب و توابع ارایه شده در این مدل مخصوص معادن استرالیا بوده است [۱۵].

۱-۵- مدل WMEI[۱۳]

در سال ۲۰۰۲، شرکت اونچرین[۱۴] که از زیرمجموعه‌های موسسه WMEI است، داده‌هایی با عنوان راهنمای محاسبه هزینه‌های ماشین‌آلات معدن و همچنین کارخانه فرآوری، ارایه کرده است که هر سال نسخه به‌روز شده آن نیز منتشر می‌شود. قسمت عمده این داده‌ها، متشکل از هزینه‌های ماشین‌آلات بارگیری و حمل است [۱۶].

با نگاهی اجمالی به مدل‌های ارایه شده برآورد هزینه معدن‌کاری می‌توان دریافت که راهنمای برآورد هزینه WMEI

منبعی مناسب برای برآورد هزینه ماشین‌آلات است که می‌توان از آن بهره برد. در ادامه به نحوه برآورد هزینه‌ها پرداخته شده است.

۲- روش کار

برای معرفی روش یاد شده، اطلاعات هزینه‌ای و درآمدی مربوط به بازه زمانی دوساله، ناوگان ترابری معدن مورد مطالعه اخذ و تحلیل شده است. برآورد هزینه‌ها در دو بخش مالکیتی (از نوع سرمایه‌ای) و جاری برآورد شده و درآمد حاصل از فعالیت ناوگان ترابری نیز با توجه به ارزش ریالی حاصل از خدمات ارایه شده مشتمل بر دپو، بارگیری، حمل و باراندازی مواد مختلف برآورد شده است. روش ارایه شده در این مقاله مبتنی بر مقایسه هزینه‌ها و درآمدهای مربوط به ناوگان ترابری است. به این منظور یک شاخص اقتصادی که بیان‌کننده درآمد حاصل از هر یک از اجزای ناوگان ترابری نسبت به هزینه‌های کلی آن جزء است، برآورد می‌شود، بنابراین لازم است، ابتدا روش‌هایی برای برآورد هزینه هر یک از اجزای ناوگان ترابری ارایه شده و سپس درآمد هر جزء برآورد شود.

۲-۱- برآورد هزینه‌ها

شاخص عملکرد اقتصادی هر یک از ماشین‌ها، با تقسیم کردن مقدار درآمد آن بر مجموع مقادیر هزینه‌های عملیاتی و مالکیت آن ماشین محاسبه می‌شود. برای مقایسه کردن درآمد و هزینه‌های ناشی از آن‌ها، باید جنس واحد هر دو یکسان شود، بنابراین برای یکسان‌سازی جنس درآمد و هزینه‌ها، واحد هزینه نیز از دلار آمریکا به ریال تبدیل شده است. نرخ تبدیل ارز نیز با توجه به انتهای بازه زمانی مورد مطالعه، ارزش‌گذاری و بر این اساس هر دلار آمریکا برابر با ۱۴۰ هزار ریال ایران در نظر گرفته شده است.

هزینه کل ماشین‌آلات به دو نوع هزینه مالکیت و هزینه عملیاتی تقسیم می‌شود. این هزینه‌ها برای یک سال محاسبه و سپس هزینه کل در دو سال بازه مورد مطالعه برآورد شده است.

۲-۱-۱- هزینه مالکیت

این بخش از هزینه‌ها شامل هزینه مالکیت سامانه‌های بارگیری و باربری است و از دو بخش هزینه استهلاک و هزینه‌های بهره، بیمه و مالیات تشکیل شده است. رابطه ۱ نشان‌دهنده ارتباط هزینه مالکیت و اجزای آن است.

$$CC = CR + IC \quad (۱)$$

که در آن:

CC : نشان‌دهنده هزینه مالکیت سالانه در دوره عمر نسبی ماشین

CR : هزینه استهلاک

IC : هزینه مربوط به نرخ‌های بهره، بیمه و مالیات است.

هزینه استهلاک از تقسیم ارزش خالص بر عمر مفید دستگاه بر حسب سال طبق رابطه ۲ به دست می‌آید [۱۷]:

$$CR = \frac{DP}{N} \quad (۲)$$

که در آن:

DP : قیمت تمام‌شده ماشین شامل مجموع قیمت خرید، هزینه حمل، تخلیه، جابه‌جایی و کم کردن ارزش اسقاط ماشین مورد نظر است.

N : عمر مفید ماشین بر حسب سال بوده و ارزش اسقاط حدود ۱۵ درصد قیمت خرید منظور شده است.

برای محاسبه هزینه مربوط به بهره، بیمه و مالیات از رابطه ۳ استفاده شده است [۱۷]:

$$IC = \frac{(DP)(p + i + t)(N + 1)}{2N} \quad (۳)$$

که در آن:

p : نرخ‌های بهره

i : نرخ‌های بیمه

t : نرخ‌های مالیات است.

با جایگذاری روابط ۲ و ۳ در رابطه ۱، هزینه مالکیت برای هر ماشین به صورت رابطه ۴ به دست می‌آید [۱۷]:

$$CC = \frac{DP[2 + (p + i + t)(N + 1)]}{2N} \quad (۴)$$

پارامترهای به کار رفته در رابطه ۴ پیش از این تعریف شده‌اند. برای تشریح بهتر موضوع، در ادامه نحوه محاسبه هزینه مالکیت یکی از کامیون‌های باربری صد تنی از سری T 100، ذکر شده است. با توجه به شرایط و ساعات کارکرد این کامیون در بازه زمانی مورد مطالعه، قیمت خرید این کامیون، ۵۵۰ هزار دلار آمریکا برآورد شده است [۱۷]. با کاهش ۱۵ درصد ارزش اسقاط ماشین مورد نظر و هزینه حمل، هزینه

تخلیه و جابه‌جایی، قیمت تمام شده این کامیون (DP) برابر با ۴۷۳,۶۴۶ دلار آمریکا برآورد می‌شود که در حدود ۴۷۴ هزاردلار در نظر گرفته شده است. با توجه به شرایط محلی، عدم امکان جایگزینی ماشین‌آلات در کوتاه‌مدت و همچنین نظرسنجی از متخصصان کارگاهی، عمر مفید برای هر کامیون (N)، ۱۰ سال در نظر گرفته شده است. با توجه به این‌که نرخ‌های بهره، بیمه و مالیات برای این ماشین‌ها در ایران به طور معمول به ترتیب ۸ درصد، ۱ درصد و ۱ درصد در نظر گرفته می‌شود [۱۷]، بنابراین با استفاده از رابطه ۴ می‌توان هزینه مالکیت سالانه را محاسبه کرد و با دو برابر کردن آن، مقدار هزینه مالکیت برابر با ۱۴۶,۸۳۰ دلار آمریکا برای مدت دو سال به دست می‌آید.

$$CC = \frac{DP[2 + (p + i + t)(N + 1)]}{2N} \quad (۵)$$

$$CC = \frac{473646[(2) + (0.08 + 0.01 + 0.01)(10 + 1)]}{2(10)}$$

$$CC = 73{,}415\ (\$/\text{year})$$

۲-۱-۲-هزینه عملیاتی

هزینه‌های عملیاتی از چندین پارامتر تشکیل می‌شوند. در این تحقیق هریک از آن‌ها به طور جداگانه بررسی و محاسبه شده است.

الف- هزینه‌های پرسنلی

هزینه‌های پرسنلی شامل هزینه حقوق و مزایای راهبران ماشین‌ها است. برای هر ماشین چهار راننده در نظر گرفته شده است. سه راننده برای بهره‌برداری از ماشین به صورت سه شیفت و یک راننده نیز برای پر کردن زمان‌های مرخصی، تعطیل کاری و ... رانندگان اصلی مدنظر است. سرانه حقوق، مزایا، عیدی، پاداش و نظایر آن برای هر راننده در زمان پژوهش پنجاه میلیون ریال برای یک ماه تعیین شده است، بنابراین هزینه راهبری هر یک از ماشین‌ها برابر با دویست میلیون ریال در یک ماه است.

ب- هزینه سوخت و سوخت‌رسانی

میزان مصرف سوخت کامیون‌های ۱۰۰ و ۳۶ تنی به ترتیب ۱۰۰ و ۶۰ لیتر بر ساعت و بیل‌های مکانیکی و شاول‌ها نیز به ترتیب ۶۰ و ۱۶۰ لیتر بر ساعت است. با احتساب قیمت ۴۲۰۰ ریال بر لیتر برای سوخت ماشین (قیمت زمان مورد مطالعه)، می‌توان هزینه سوخت برای هر ماشین را محاسبه کرد. همچنین با توجه به سایر هزینه‌های مترتب بر سوخت ماشین‌ها، مانند تامین سوخت، نگهداری سوخت، تصفیه سوخت، تاسیسات و ماشین‌آلات سوخت‌رسانی، ضریب ۲ برای هزینه به دست آمده برای هر ماشین در نظر گرفته می‌شود.

پ- هزینه‌های روغن‌کاری

هزینه‌های مربوط به تامین و تعویض روغن و همچنین سرویس‌کاری در مورد عملیات روان‌کاری ماشین‌آلات بارگیری و باربری معمولا معادل ۳۰ درصد هزینه‌های مصرف سوخت در نظر گرفته می‌شود [۱۸].

ت- هزینه‌های تعمیر و نگهداری

هزینه‌های تعمیر و نگهداری را می‌توان به دو بخش هزینه‌های تعمیر و نگهداری دوره‌ای و هزینه‌های تعمیر و نگهداری اصلاحی تقسیم کرد. در ارزیابی‌های اقتصادی، هزینه‌های تعمیر و نگهداری دوره‌ای معمولا به اندازه ۲۰ درصد هزینه استهلاک سالانه دستگاه‌های نو در نظر گرفته می‌شود [۱۸]. هزینه‌های سالانه تعمیر و نگهداری اصلاحی نیز برابر با ضریبی از قیمت خرید دستگاه، با توجه به عمر مفید آن، در نظر گرفته شده است. این ضریب برای ماشین‌آلات مختلف با توجه به عمر آن‌ها در بازه زمانی مورد مطالعه تعیین شده است. به این منظور، در ده سال ابتدایی عمر ماشین‌آلات، این ضریب در سال اول ۱٫۶ درصد منظور شده و هر سال به میزان ۰٫۲ درصد افزایش داده شده است. به طوری که در سال دهم عمر ماشین، مقدار این ضریب به ۳٫۴ درصد می‌رسد. لازم به ذکر است که عمر مفید این ماشین‌آلات ده سال بوده و بعد از ده سال کارکرد، تعمیر و بازسازی اساسی انجام می‌شود. با این همه بعد از بازسازی اساسی انتظار می‌رود که هزینه‌های ناشی از تعمیر و نگهداری اصلاحی در دهه دوم عمر ماشین‌آلات بیشتر از دهه اول عمر آن‌ها باشد. بر این اساس، در دهه دوم عمر ماشین‌آلات، مقدار این ضریب از ۲ درصد شروع شده و در سال بیستم عمر آنها این مقدار برابر با ۳٫۸ درصد منظور شده است. میانگین این مقادیر در سال‌های بازه مورد مطالعه، ضریب نهایی مورد استفاده در تعیین هزینه‌های سالانه تعمیر و نگهداری اصلاحی است.

ث- هزینه‌های پیش‌بینی نشده عملیاتی

هزینه‌های پیش‌بینی نشده به مقدار ۱۰ درصد کل هزینه‌های عملیاتی برای هر یک از ماشین‌ها در نظر گرفته شده است [۱۹]. با در نظر گرفتن هزینه‌های یاد شده، یکی

از کامیون‌های ترابری به صورت نمونه‌ای از کل ماشین‌آلات باربری، برای تشریح و توضیح روند محاسبات هزینه‌های عملیاتی انتخاب شده است. در جدول ۱، جزییات مربوط به روند محاسبه هزینه‌های این کامیون مشخص درج است [۱۹].

۲-۱-۳- برآورد هزینه کل

با توجه به روش‌های یاد شده در قسمت‌های قبل، هزینه‌های مالکیت و عملیاتی برای هر یک از ماشین‌آلات ناوگان ترابری محاسبه شده و در نتیجه هزینه کل ماشین‌ها که از مجموع این دو هزینه به دست می‌آیند، برآورد شده است. بر این اساس، هزینه مالکیت، عملیاتی و هزینه کل دو ساله ناوگان ترابری در جدول ۲، ذکر شده است. در ناوگان باربری با مقایسه هزینه‌ها مشخص می‌شود که بیشترین هزینه مالکیت و عملیاتی مربوط به کامیون‌های سری C 100 است و همچنین کامیون‌های سری K 60 کمترین هزینه مالکیت و عملیاتی را در بین کامیون‌ها دارند که دلیل این امر را می‌توان از ابعاد کوچک و ظرفیت کم باربری آن‌ها دانست. در ماشین‌آلات بارگیری نیز، بیل مکانیکی‌ها به دلیل داشتن ظرفیت پایین و کم بودن زمان تعمیر آن‌ها نسبت به شاول‌ها، هزینه مالکیت و عملیاتی کمتری دارند. در شکل ۱، ماشین‌آلات ناوگان ترابری برای مقایسه اقتصادی از لحاظ هزینه نسبت به یکدیگر ترسیم شده‌اند.

جدول ۱: جزییات محاسبه هزینه عملیاتی یک کامیون صدتنی از ناوگان ترابری معدن

ردیف	عنوان	مقدار	واحد	توضیحات
۱	تعداد راننده ماشین	۴	نفر	سه راننده در هر شیفت کاری + یک راننده آماده بکار
۲	حقوق سالانه هر راننده ماشین	۶۰	میلیون تومان	حقوق ماهانه هر راننده ۵ میلیون
۳	جمع هزینه پرسنلی	۲۴۰	میلیون تومان	تعداد راننده × حقوق سالانه هر راننده
۴	بهای سوخت و عملیات سوخت‌رسانی	۴۲۰	تومان	۴۲۰ تومان هر لیتر سوخت و همچنین سوخت‌رسانی
۵	مصرف سوخت	۱۰۰	لیتر بر ساعت	-
۶	کارکرد سالانه	۲۰۹۷	ساعت	کارکرد کامیون بر اساس مستندات کارگاهی
۷	جمع هزینه سوخت	۸۸/۰۷	میلیون تومان	قیمت × مصرف × کارکرد
۸	هزینه روغن‌کاری	۲۶/۴۲	میلیون تومان	هزینه سوخت × ۰/۳
۹	تعمیر و نگهداری پیش‌گیرانه	۱۳۲/۶۲	میلیون تومان	هزینه استهلاک × ۰/۲
۱۰	تعمیر و نگهداری اصلاحی	۲۰۷/۹۰	میلیون تومان	قیمت خرید × ۰/۰۲۷
۱۱	جمع هزینه تعمیر و نگهداری	۳۴۰/۵۲	میلیون تومان	
۱۲	هزینه‌های پیش‌بینی نشده عملیاتی	۶۹/۵۰	میلیون تومان	هزینه کل عملیاتی × ۰/۱۰
۱۳	جمع کل هزینه‌های عملیاتی سالانه	۷/۶۵	میلیارد ریال	
۱۴	جمع کل هزینه‌های عملیاتی دو ساله	۱۵/۳۰	میلیارد ریال	جمع کل هزینه‌های عملیاتی سالانه × ۲

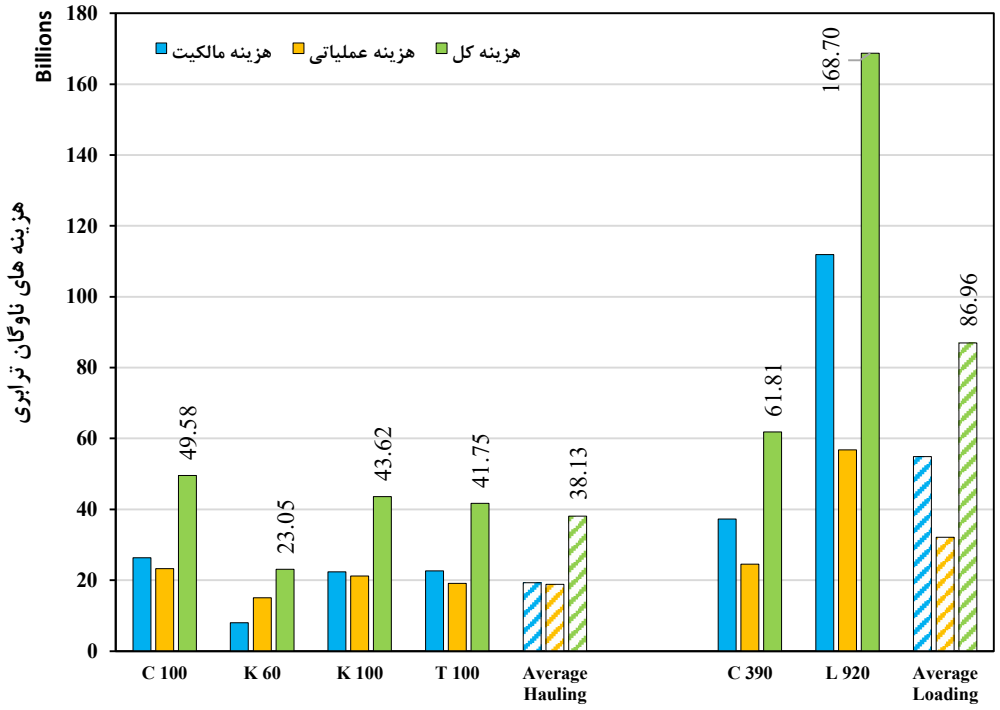
جدول ۲: هزینه مالکیت، عملیاتی و هزینه کل ناوگان ترابری در دو سال

ردیف	نوع کاربری	نوع ماشین	میانگین هزینه مالکیت هر ماشین (میلیارد ریال)	میانگین هزینه عملیاتی هر ماشین (میلیارد ریال)	میانگین هزینه کل هر ماشین (میلیارد ریال)
۱	ناوگان باربری	T 100	۲۲/۶۵	۱۹/۰۹	۴۱/۷۵
۲		C 100	۲۶/۳۲	۳۷/۲۷	۴۹/۵۸
۳		K 60	۸/۰۱	۱۵/۰۷	۲۳/۰۵
۴		K 100	۲۲/۴۰	۲۱/۲۲	۴۳/۶۲
۵		میانگین	۱۹/۳۱	۱۸/۸۲	۳۸/۱۳
۶	ناوگان بارگیری	C 390	۳۷/۳۰	۲۴/۵۱	۶۱/۸۱
۷		L 920	۱۱۱/۹۰	۵۶/۸۰	۱۶۸/۷۰
۸		میانگین	۵۴/۸۵	۳۲/۱۱	۸۶/۹۶

۲-۲- برآورد درآمد

درآمد حاصل از استخراج هر مترمکعب ماده معدنی و باطله در سال‌های ۱۳۹۶، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ بر اساس اطلاعات کسب شده، به دست آمده است. از طرفی بر اساس مستندات موجود، در حدود ۵۰ درصد از کل درآمد مربوط به عملیات بارگیری و حمل است. همچنین در حدود ۴۰ درصد از درآمدها مربوط به عملیات باربری و در حدود ۱۰ درصد از آن به عملیات بارگیری قابل اختصاص است. بر پایه این اطلاعات و همچنین مقدار حمل ماده معدنی و باطله به وسیله هر کامیون در بازه زمانی دو ساله، میزان خلق درآمد به وسیله هر ماشین قابل برآورد است.

میزان درآمد بهره‌بردار حاصل از کارکرد هر یک از ماشین‌آلات ترابری در جدول ۳، با یکدیگر مقایسه شده است. همچنین سرانه درآمد دو سالانه آن‌ها نیز در شکل ۲، ترسیم شده است. بیشترین میانگین درآمد بهره‌بردار در بین انواع کامیون‌ها متعلق به سری کامیون C 100 با متوسط درآمد دو ساله ۱۳۹ میلیارد ریال است که ۸۳ درصد آن مربوط به حمل باطله و ۱۷ درصد آن مربوط به حمل ماده معدنی بوده است. با ارزیابی عملکرد درآمدی ماشین‌های بارگیری نیز مشخص می‌شود که میزان درآمد کل حاصل از عملیات بیل‌های مکانیکی C 390 با ۱۱۴ میلیارد ریال، از شاول‌های L 920 با



شکل ۱: نمودار هزینه مالکیت، عملیاتی و هزینه کل ناوگان ترابری در دو سال

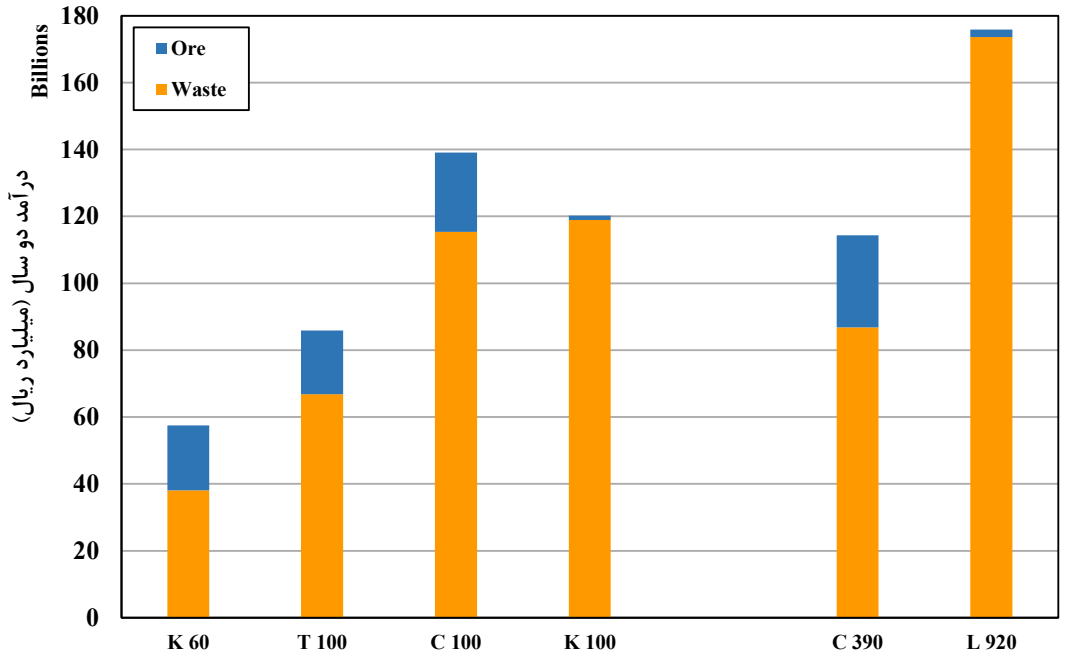
جدول ۳: درآمد کل و سرانه متوسط بهره‌بردار در ناوگان ترابری طی مدت زمان دو سال

ردیف	نوع کاربری	نوع ماشین	تعداد ماشین‌آلات	میانگین درآمد هر ماشین در طی دوسال (میلیارد ریال)	درآمد کل ماشین‌های هر گروه طی دو سال (میلیارد ریال)
۱	ناوگان باربری	T 100	۴۴	۸۵٫۸۳	۳۷۷۷
۲		C 100	۱۳	۱۳۹٫۰۶	۱۸۰۸
۳		K 60	۲۳	۵۷٫۴۴	۱۳۲۱
۴		K 100	۷	۱۲۰٫۲۰	۸۴۱
۶	ناوگان بارگیری	C 390	۱۳	۱۱۴٫۳۷	۱۴۸۷
۷		L 920	۵	۱۷۵٫۸۴	۸۷۹

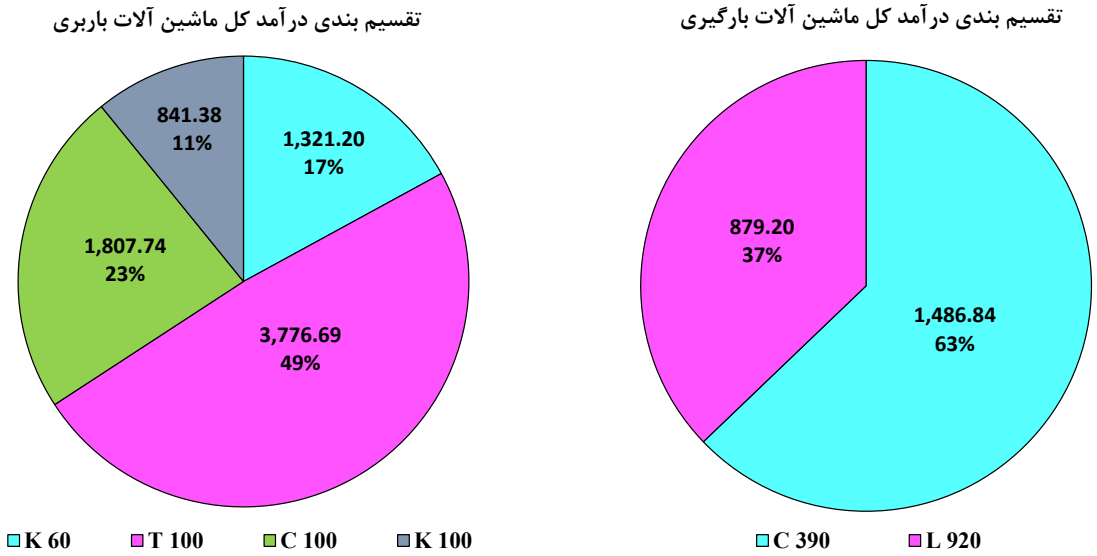
۱۴۹ میلیارد ریال، کمتر است.

مقدار درآمد کل ناوگان باربری و بارگیری به تفکیک انواع ماشین‌ها در شکل ۳، ترسیم و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. پس از بررسی میزان درآمد حاصل از هر یک از انواع کامیون‌ها، مشخص می‌شود که ۴۹ درصد از سهم درآمدهای باربری به وسیله کامیون‌های T 100، ۲۳ درصد به وسیله کامیون‌های C 100، ۱۷ درصد به وسیله کامیون‌های K 60 و ۱۱ درصد به وسیله کامیون‌های K 100 حاصل شده است.

واضح است که تقریبا نیمی از درآمد کل ناوگان باربری مربوط به کامیون‌های T 100 است که این امر به دلیل تعداد بالای آن‌ها در ناوگان باربری است. علاوه بر این، کل درآمدهای دو ساله حاصل از کارکرد بیل‌های مکانیکی



شکل ۲: متوسط درآمد حاصل از کارکرد هر یک از انواع ماشین‌آلات بارگیری و باربری در دوره دو ساله



شکل ۳: سهم هریک از انواع ماشین‌ها در کل درآمدهای دوساله مربوط به عملیات بارگیری و باربری در معدن

C 390 با توجه به تعداد بیشتر آن‌ها حدود ۱٫۷ برابر شاول‌های L 920 است.

۲-۳- برآورد شاخص عملکرد اقتصادی

با توجه به این که شاخص عملکرد اقتصادی هر یک از ماشین‌ها با تقسیم کردن مقدار درآمد آن بر مجموع مقادیر هزینه‌های عملیاتی و مالکیت آن ماشین محاسبه می‌شود، بنابراین پس از ارزیابی و برآورد هزینه کل و درآمد کل ماشین‌آلات ناوگان ترابری، می‌توان مقدار بازدهی اقتصادی ماشین‌آلات را با محاسبه شاخص عملکرد اقتصادی محاسبه کرد. در جدول ۴، سرانه متوسط درآمد، هزینه کل و شاخص عملکرد اقتصادی ماشین‌آلات ناوگان ترابری در دو سال ارایه شده است.

۳- بحث و نتایج

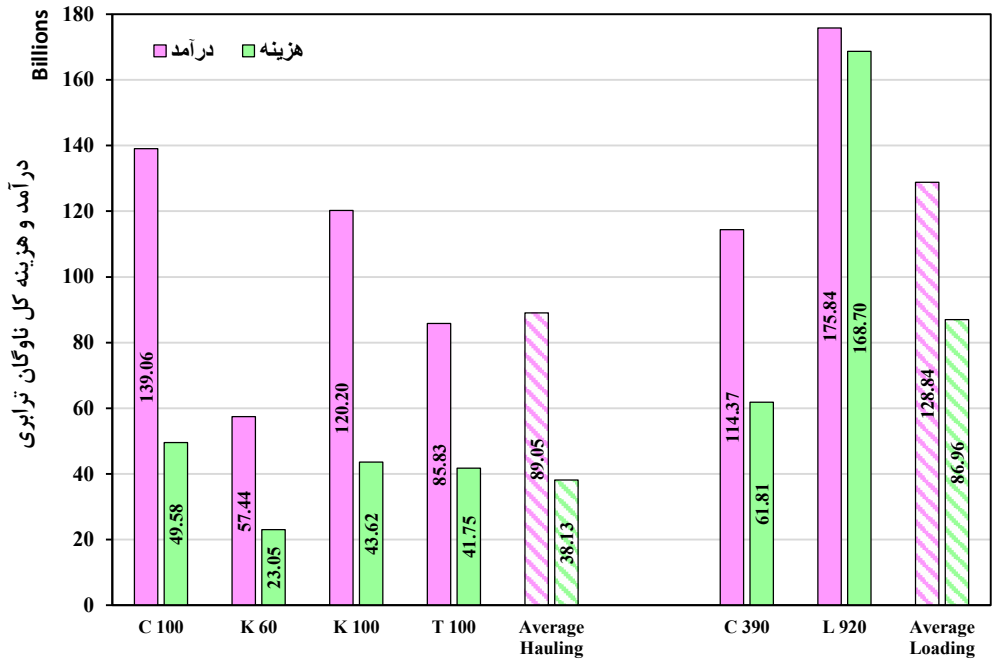
با توجه به ارزیابی‌ها و برآوردهای انجام شده از هزینه کل و درآمد کل ماشین‌آلات ناوگان ترابری، شاخص عملکرد اقتصادی برای این ماشین‌آلات برآورد شده است. این شاخص عملکردی جایگاه ماشین‌ها را از لحاظ اقتصادی روشن می‌کند. چنانچه ضریب ۱٫۴۲ به عنوان ضریب هزینه بالاسری برای ماشین‌آلات منظور شود، شاخص عملکرد بزرگتر از این عدد حاکی از به کارگیری همراه با سود برای بهره‌بردار است و برعکس شاخص عملکرد کوچکتر از ۱٫۴۲، نشان‌گر عدم انتفاع بهربردار از عملکرد ماشین مورد نظر است. توضیح این نکته نیز ضروری است که نوع عملیات باربری بر درآمد حاصل از آن تاثیر دارد. به طور مثال معمولا میزان درآمد کامیون‌های سری K 100 که عمدتا به حمل باطله مشغول‌اند، نسبت به همین کامیون‌ها که مشغول حمل مواد معدنی‌اند، کمتر است. علاوه بر این، ظرفیت کامیون‌ها نیز در عملکرد آنها موثر است. با توجه به شکل ۴، مشخص است که کامیون‌های K 60 به دلیل ظرفیت باربری کمتر نسبت به سایر کامیون‌ها، هزینه و درآمد کمتری دارند، اما دیگر کامیون‌های باربری هزینه کل تقریبا یکسان ولی درآمد متفاوتی دارند.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که ماشین‌هایی که دارای ساعت کار مفید بیشتری هستند، مقدار درآمد بیشتری دارند. همچنین بیشترین هزینه و درآمد در بین انواع کامیون‌ها متعلق به کامیون C 100، با متوسط هزینه کل و درآمد دو ساله به ترتیب ۴۹٫۵۸ و ۱۳۹٫۰۶ میلیارد ریال است. با این وجود کامیون‌های C 100 بهترین عملکرد را در بین همه کامیون‌های باربری داشته و مقدار شاخص عملکرد آن‌ها به طور متوسط برای هر یک از این کامیون‌ها ۲٫۸۲ است. کامیون‌های T 100 نیز با مقدار شاخص ۲٫۰۵ پایین‌ترین عملکرد اقتصادی را دارند. در کل مقدار متوسط شاخص عملکرد اقتصادی برای کامیون‌های باربری برابر با ۲٫۳۳ است که یک مقدار قابل قبول اقتصادی است.

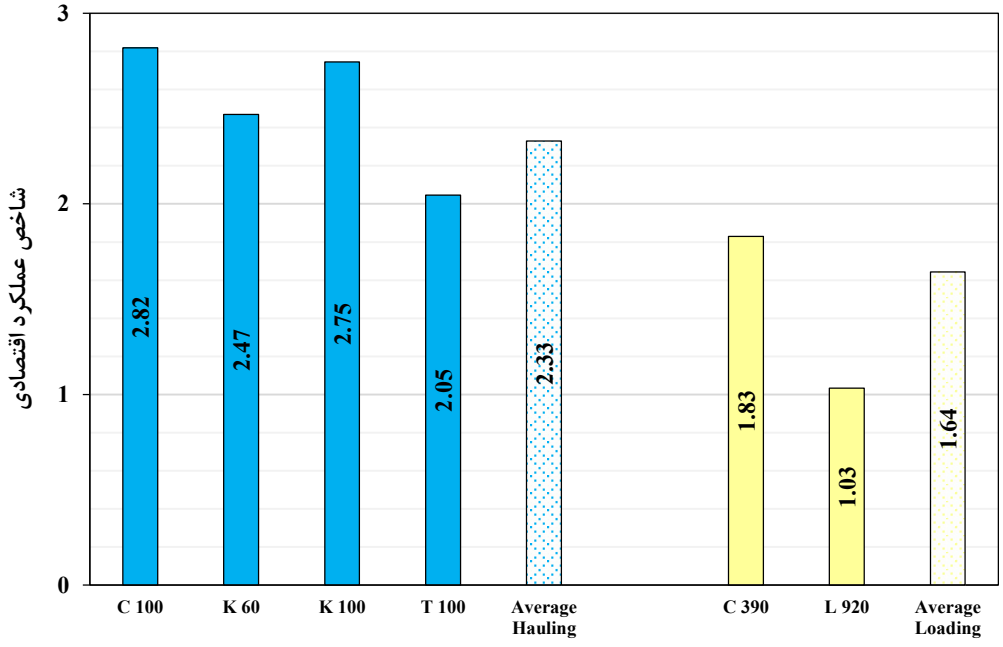
در بررسی‌های ماشین‌های بارگیری نیز می‌توان دریافت که بیل مکانیکی‌ها به دلیل داشتن ظرفیت پایین‌تر و ساده‌تر بودن سیستم تعمیر آن نسبت به شاول‌ها، هزینه و درآمد کمتری داشته و با توجه به شکل ۵، نسبت به شاول‌ها، عملکرد بهتری دارند. شاخص عملکرد اقتصادی متوسط برای هر شاول ۱٫۰۳ است که سود ناچیزی به همراه دارند. بیل‌های مکانیکی عملکرد متوسطی دارند و متوسط عملکرد هر بیل مکانیکی برابر با ۱٫۸۳ است و سود کمی به همراه دارد. در کل مقدار متوسط شاخص عملکرد، برای هر یک از ماشین‌آلات بارگیر برابر با ۱٫۶۴ است که یک مقدار ضعیفی محسوب شده و عملکرد مناسبی به شمار نمی‌رود.

جدول ۴: سرانه متوسط درآمد، هزینه کل و شاخص عملکرد اقتصادی ناوگان ترابری در دو سال

ردیف	نوع کاربری	نوع ماشین	میانگین هزینه کل هر ماشین طی دو سال (میلیارد ریال)	میانگین درآمد هر ماشین طی دو سال (میلیارد ریال)	شاخص عملکرد اقتصادی
۱	ناوگان باربری	T 100	۴۱٫۷۵	۸۵٫۸۳	۲٫۰۵
۲		C 100	۴۹٫۵۸	۱۳۹٫۰۶	۲٫۸۲
۳		K 60	۲۳٫۰۵	۵۷٫۴۴	۲٫۴۷
۴		K 100	۴۳٫۶۲	۱۲۰٫۲۰	۲٫۷۵
۵		میانگین	۳۸٫۱۳	۸۹٫۰۵	۲٫۳
۶	ناوگان بارگیری	C 390	۶۱٫۸۱	۱۱۴٫۳۷	۱٫۸۳
۷		L 920	۱۶۸٫۷۰	۱۷۵٫۸۴	۱٫۰۳
۸		میانگین	۸۶٫۹۶	۱۲۸٫۸۴	۱٫۶



شکل ۴: متوسط درآمد و هزینه کل ناوگان بارگیری و باربری در دوره دو ساله



شکل ۵: شاخص عملکرد اقتصادی ماشین‌آلات ناوگان بارگیری و باربری

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای مقایسه و در نتیجه بررسی عملکرد ماشین‌آلات ترابری معدن مورد مطالعه از لحاظ اقتصادی در بازه زمانی مشخص شده (از تاریخ ۹۶/۷/۱ تا ۹۸/۰۶/۳۱) از شاخص عملکرد اقتصادی که متشکل از دو پارمتر هزینه و درآمد است، استفاده شده است. شاخص عملکرد ماشین‌آلات ترابری، با تقسیم کردن مقادیر درآمد ماشین‌آلات بر هزینه کل آن‌ها، تعریف شده‌اند. این شاخص عملکرد برای ماشین‌آلات باربری و بارگیری به صورت جداگانه بررسی شده و نتایج کلی آن به شرح زیر است:

- بیشترین هزینه و درآمد تولید شده در بین انواع کامیون‌ها متعلق به سری کامیون‌های C 100 با متوسط هزینه کل و درآمد سالانه که به ترتیب ۴۹٫۵۸ و ۱۳۹٫۰۶ میلیارد ریال است. کامیون‌های C 100 بهترین عملکرد اقتصادی را در بین کل کامیون‌های باربری داشته و مقدار شاخص عملکرد اقتصادی آن‌ها به طور متوسط برای هر یک از آن کامیون‌ها ۲٫۸۲ است.
- شاخص عملکرد اقتصادی کامیون‌های T 100 با مقدار ۲٫۰۵، کمترین شاخص اقتصادی را دارند که سود کمی را برای ناوگان ترابری به ارمغان می‌آورند که با توجه به تعداد زیاد این کامیون‌ها، نیازمند مدیریت بیشتری است.
- کامیون‌های باربری هزینه کل تقریبا یکسان ولی درآمد متفاوتی دارند، به جز کامیون‌های K 60 که به دلیل ظرفیت کمتر آنها نسبت به دیگر کامیون‌ها، هزینه و درآمد کمتری دارند. به طور واضح‌تر، هر ماشینی که دارای ساعت کار مفید بیشتری است، مقدار درآمد بیشتری دارد. در کل مقدار متوسط شاخص عملکرد، برای هر یک از کامیون‌های باربری برابر با ۲٫۳۳ است که با توجه به ضریب بالاسری شاخص عملکرد اقتصادی (۱٫۴۲) یک مقدار متوسطی محسوب شده و عملکرد تقریبا مناسبی به شمار می‌روند.
- بیل مکانیکی‌ها به دلیل داشتن ظرفیت پایین و کم بودن زمان تعمیرپذیری آن‌ها نسبت به شاول‌ها، هزینه و درآمد کمتر و عملکرد اقتصادی نسبتا بهتری در مقابل شاول‌ها دارند. با این حال این ماشین‌های بارگیر با توجه به اینکه به مقداری خیلی کمی از شاخص عملکرد اقتصادی ۱٫۴۲ بزرگتر است، بنابراین سود بسیار اندکی را با خود به همراه دارند.
- شاول‌ها با توجه به اینکه شاخص عملکرد اقتصادی کمتر از ۱٫۴۲ دارند، بنابراین ناوگان ترابری را متضرر کرده و باید از ناوگان ترابری معدن حذف شوند.
- میانگین شاخص عملکرد اقتصادی ماشین‌آلات بارگیر، ۱٫۶۴ است که عملکرد ضعیفی به شمار می‌رود و سود بسیار اندکی با خود به همراه دارند که نیازمند توجه بیشتر و مدیریت فنی آنها است.

۵- مراجع

[1] Boehm, B. W. (1984). *"Software engineering economics"*. IEEE Transactions on Software Engineering, 1: 4-21.

[2] Zhang, Y. F., and Fuh, J. Y. H. (1998). *"A neural network approach for early cost estimation of packaging products"*. Computers & Industrial Engineering, 34(2): 433-450.

[3] Ben-Arieh, D., and Qian, L. (2003). *"Activity-based cost management for design and development stage"*. International Journal of Production Economics, 83(2): 169-183.

[4] Shehab, E. M., and Abdalla, H. S. (2001). *"Manufacturing cost modeling for concurrent product development"*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 17(4): 341-353.

[5] Shehab, E. M., and Abdalla, H. S. (2002). *"A design to cost system for innovative product development"*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 216(7): 999-1019.

[6] Roy, R. (2003). *"Cost engineering: why, what, and how?"*. Cranfield University, pp. 39.

[7] Cavalieri, S., Maccarrone, P., and Pinto, R. (2004). *"Parametric vs. neural network models for the estimation of production costs: A case study in the automotive industry"*. International Journal of Production Economics, 91(2): 165-177.

[8] Niazi, A. (2008). *"Product and Manufacturing Cost Estimation: Theoretical Development and Industrial Validation (Doctoral dissertation, King's College London)"*. Ph.D Thesis.

[9] Niazi, A., Dai, J. S., Balabani, S., and Seneviratne, L. (2006). *"Product cost estimation: Technique classification and methodology review"*. Journal of Manufacturing Science and Engineering-Transactions of the Asme, 128(2): 563-575. DOI: https://doi.

org/10.1115/1.2137750.

[10] Curran, R., Raghunathan, S., and Price, M. (2004). *"Review of aerospace engineering cost modeling"*. The Genetic Causal Approach Progress in Aerospace Sciences, 40(8): 487-534.

[11] Caputo, A. C., and Pelagagge, P. M. (2008). *"Parametric and neural methods for cost estimation of process vessels"*. International Journal of Production Economics, 112(2): 934-954.

[12] Mular, A. L. (1982). *"Mining and mineral processing equipment costs and preliminary capital cost Estimation"*. Canadian Institute of Mining and Metallurgy (Montreal), CIM Special, 25: pp. 265.

[13] USBM, (1987). *"US Bureau of mines cost estimating system handbook"*. Mining and beneficiation of Metallic and nonmetallic minerals expected fossil fuels in the United States and Canada. United States Bureau of Mines, Open-file report 10-87, Denver, Colorado.

[14] O'Hara, T. A. (1980). *"Quick guide to the evaluation of ore bodies"*. CIM Bulletin, 88: 34-43.

[15] Noakes, M., and Lanz, T. (1993). *"Cost estimation handbook for the Australian mining industry"*. Australasian Institute of Mining and Metallurgy, pp. 412.

[16] Western Mining Engineering Institute, (2002). *"Mine and Mill Equipment; an estimator guide"*. Aventurine, USA.

[17] Hartman, H. L., and Mutmansky, J. M. (2002). *"Introductory mining engineering"*. John Wiley & Sons.

[18] Noakes, M., and Lanz, T. (1993). *"Cost estimation handbook for the Australian mining industry"*. Political Science. DOI: 10.1016/0148-9062(94)91320-x.

[19] Lowrie, R. L. (Ed.). (2002). *"SME mining reference handbook"*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, pp. 464.

---

[1] Boehm

[2] Zhuang

[3] Qian and Ben-Arieh

[4] Shehab and Abdilla

[5] Roy

[6] Cavalieri

[7] Hierarchical Classification System

[8] Mular

[9] United State Bureau of Mines

[10] O'Hara

[11] Australasian Institute of Mining and Metallurgy

[12] Noakes and Lanz

[13] Western Mine Engineering In

[14] Aventurine