



بررسی سیستم توزیع مناسب شاول کامیون و ارائه ضریب تطبیق در معدن مس سرچشمه

سامان قادری^۱، دکتر راحب باقرپور^۲، سعید میرزائی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی معدن، s.ghaderi@mi.iut.ac.ir

۲- استاد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی معدن، Bagherpour@cc.iut.ac.ir

۳- مشاور صنعتی، کارشناس ارشد مکانیک سنگ، امور معدن، مجتمع معدن مس سرچشمه، Mirzaei_s@nicico.com

چکیده

استخراج معدن شامل حفاری، انفجار، بارگیری و باربری می‌شود. در مسئله هزینه‌های استخراج معدن، بیشترین هزینه مربوطه به بخش بارگیری و باربری معدن می‌شود که برای مدیریت ناوگان حائز اهمیت است. در بین روش‌های حمل‌ونقل، روش کامیون شاول متداول‌ترین روش در بین معادن روباز است که از نظر هزینه ۵۰ تا ۶۰ درصد هزینه‌های معدن‌کاری را به خود اختصاص داده است. بارگیری با ماشین‌آلات شاول و لودر انجام می‌شود. در مبحث باربری می‌توان به چند روش که در معادن سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد اشاره کرد. حمل مواد توسط نوار نقاله، نقاله هوایی، ریلی و کامیون انجام می‌شود. در این پژوهش ناوگان ناهمگن شاول - کامیون معدن مس سرچشمه که از ۱۶ شاول و ۳۸ کامیون تشکیل شده مورد بررسی قرار گرفت. این بررسی نشان داد که در هر شیفت ۶ یا ۷ شاول مشغول به کار هستند. ضریب تطبیق یک شاخص برای نشان دادن بهره‌وری ناوگان شاول کامیون است. مقدار ضریب تطبیق برای ناوگان حمل‌ونقل مس سرچشمه برابر با ۰/۴ است. نتیجه‌ی مقدار ضریب تطبیق نشان داد که تعداد کامیون در ناوگان کافی نیست و شاول‌ها منتظر کامیون‌ها هستند. با توجه به کامیون‌های پیمانکاران و وجود تنها یک سنگ‌شکن اولیه باعث شد که زمان انتظار کامیون‌های معدن مس سرچشمه در صف سنگ‌شکن افزایش پیدا کند. در نتیجه شاول‌ها باید در انتظار رسیدن کامیون‌ها برای بارگیری باشند. بررسی داده‌های برداشت شده از ناوگان این نتیجه را تأیید کرد. در بررسی‌های انجام شده، میانگین زمان انتظار شاول‌ها ۴۰۴ ثانیه، زمان انتظار کامیون برای بارگیری ۲۹۰ ثانیه و زمان انتظار کامیون در صف سنگ‌شکن ۳۱۷ ثانیه به دست آمد. دلیل انتظار کامیون‌ها عدم نظارت بر عملیات بارگیری و باربری می‌باشد. سیستم توزیع مناسب کامیون‌ها برای کاهش انتظار زمان شاول‌ها استفاده از روش کاهش زمان انتظار شاول که در دسته بندی روش‌های ابتکاری قرار دارد پیشنهاد شد.

کلیدواژه: ناوگان ناهمگن، ضریب تطبیق، سیستم توزیع، مدیریت ناوگان، روش‌های ابتکاری



Investigating the proper distribution system of truck shovels and providing the adjustment factor in Sarcheshmeh copper mine

Saman Qaderi¹, Dr. Raheb Bagherpour², Saeed Mirzai³

1- Master's student, Isfahan University of Technology, Faculty of Mining Engineering, s.ghaderi@mi.iut.ac.ir

2- Professor, Isfahan University of Technology, Faculty of Mining Engineering, Bagherpour@cc.iut.ac.ir

3- Industrial consultant, senior expert in rock mechanics, mining affairs, Sarcheshme copper mining complex, Mirzaei_s@nicico.com

Abstract

Mining includes drilling, blasting, loading and transportation. In the issue of mining costs, the highest cost is related to the mine loading and transportation, which is important for fleet management. Among the transportation methods, the shovel truck method is the most common method among open pit mines, which accounts for 50 to 60 percent of mining costs. Loading is done with shovel and loader machines. In the topic of transportation, we can mention several methods that are used in surface mines. Materials are transported by conveyor, air conveyor, rail and truck. In this research, the heterogeneous shovel-truck fleet of Sarcheshme copper mine, which consists of 16 shovels and 38 trucks, was investigated. This survey showed that 6 or 7 shovels are working in each shift. Matching coefficient is an index to show the efficiency of the shovel truck fleet. The value of matching factor for Sarcheshme copper transport fleet is equal to 0.4. The result of matching factor showed that the number of trucks in the fleet is not enough and the shovels are waiting for the trucks. Considering the trucks of the contractors and the presence of only one primary crusher, the waiting time for Sarcheshme copper mine trucks in the queue for the crusher increased. As a result, the shovels have to wait for the trucks to arrive for loading. Examining the data collected from the fleet confirmed this result. In the conducted surveys, the average waiting time for shovels was 404 seconds, the waiting time for trucks for loading was 290 seconds, and the waiting time for trucks in the line of stone crushers was 317 seconds. The reason for waiting for trucks is the lack of monitoring of loading and unloading operations. The suitable distribution system of trucks to reduce the waiting time of shovels, using the method of reducing the waiting time of shovels, which is in the category of innovative methods, was suggested.

Keywords: heterogeneous fleet, adaptation coefficient, distribution system, fleet management, innovative methods



۱- مقدمه

هدف اصلی یک فعالیت معدنی، تولید مواد معدنی برای مصرف جامعه است. در صورت موفقیت‌آمیز بودن فعالیت، تولید مواد معدنی با کمترین هزینه انجام می‌شود و مابقی سود صرف توسعه معادن و استخراج سنگ معدن می‌شود. یکی از پارامترهای مهم در هر معدن، انتخاب ماشین‌آلات و سازگاری آن است. به‌طور کلی انتخاب ماشین‌آلات به‌منظور دستیابی به یک هدف خاص انجام می‌شود و ماشین‌آلات انتخاب‌شده باید به‌طور مناسب با محیط کار و سایر تجهیزات سازگار شود. انتخاب ماشین‌آلات بر اساس محدودیت‌هایی است که باید در هر معدن در نظر گرفته شود. عملیات واحد یک معدن روباز شامل حفاری، انفجار، بارگیری و حمل‌ونقل است. در این میان، بیشترین هزینه استخراج روباز به ترتیب مربوط به بارگیری و حمل‌ونقل است [۱]. از آنجایی که شرکت‌های معدنی به سرعت از ذخایر عمیق بهره‌برداری می‌کنند، معادن آینده در شرایط شدید آب و هوایی عمیق‌تر و دورتر خواهد بود و هزینه‌های انرژی گران‌تر این عملیات، بر اقتصاد کلی استخراج معادن با افزایش هزینه‌های حمل‌ونقل مواد تأثیر می‌گذارد که منجر به افزایش فواصل حمل‌ونقل از سطوح کاری تا سطح ابتدایی معدن می‌شود و چرخه طولانی‌تری را برای واحدهای حمل‌ونقل معرفی می‌کند. همچنین می‌تواند نرخ تولید پایین‌تری را ایجاد کند. حمل‌ونقل به یک پارامتر حیاتی تبدیل‌شده و بنابراین عامل مهم در بهینه‌سازی تولید مواد معدنی برای معادن روباز عمیق در عملیات استخراج، کامیون‌ها از شاول‌ها به سمت تخلیه یا سنگ‌شکن حرکت کرده و برمی‌گردند، تبدیل شده است. مشکل انتخاب تجهیزات برای معدن بسیار مهم است. صنعت معدن کاری نیاز به انتقال حجم بسیار زیادی از مواد در طول عمر چندساله معدن دارد. و علاوه بر این، تصمیم‌گیرندگان معدن در انتخاب ناوگان مناسب شاول و کامیون باید اطمینان حاصل کنند که نیازهای جابجایی مواد یا حداقل هزینه را برآورد می‌کند. بارگیری و باربری فعالیت‌های اصلی طرح حمل‌ونقل معدن هستند که بیش از ۵۰ درصد از کل هزینه‌های عملیاتی را تشکیل می‌دهند [۲]. یک سیستم استخراج شاول کامیون، به‌طور کلی از شاول‌ها و کامیون‌های مرتبط تشکیل شده است. سنگ معدن و باطله توسط شاول‌ها در کامیون‌ها بارگیری می‌شود و کامیون‌ها بین محل‌های بارگیری و باطله یا سنگ‌شکن‌ها حمل می‌شوند. عناصر اصلی عملیاتی برای یک چرخه کامیون شامل استقرارگیری، بارگیری، باربری، تخلیه، حمل خالی، صف و تأخیرهای عملیاتی است [۳].

۲- ۱-۲ سیستم شاول-کامیون

نوعی سیستم حمل‌ونقل مواد است که به‌طور گسترده در معادن روباز در مقیاس جهانی استفاده می‌شود که عموماً از چندین کامیون حمل‌ونقل و تجهیزات بارگیری مانند شاول تشکیل شده است [۴]. مهم‌ترین سیستم، از نظر جابجایی کارآمد مواد، سیستم کامیون-شاول است. از نقطه نظر عملیاتی، نحوه تخصیص بهینه کامیون به شاول از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا مقادیر زیادی سنگ معدن و باطله باید از داخل پیت در مسیر نسبتاً طولانی و شیب دار به مقصد تحویل داده شود [۵].

۳- ۱-۳ الگوریتم‌های ابتکاری توزیع کامیون

الگوریتم‌های ابتکاری همان‌طور که از اسم آنها پیداست بر اساس منطق و ریاضیات نیستند و نمی‌توانند جواب بهینه را به ما بدهند؛ اما محاسبه آنها ساده و زمان کمتری را برای پیدا کردن جواب صرف می‌کنند. در قسمت به معروف‌ترین آن‌ها اشاره شده است [۶].

۱-۳-۱ به حداقل رساندن زمان انتظار شاول (MSWT)*

۱-۳-۲ به حداقل رساندن زمان کاری چرخه کامیون (MTCT)†

۱-۳-۳ به حداقل رساندن زمان انتظار کامیون (MTWT)‡

۱-۳-۴ به حداقل رساندن اشباع و پوشش شاول (MSC)§

* Minimum shovel wait time

† Minimum truck cycle time

‡ Minimum truck wait time

§ Minimum shovel cover



۲- پیشینه پژوهش

با توجه به اهمیت ضریب تطبیق، از گذشته تا به امروز مطالعات زیادی توسط محققین پیرامون این امر مهم صورت گرفته است؛ برت و کاتاكا در سال ۲۰۰۷ با توجه به رابطه داگلاس در سال (۱۹۶۴) و رابطه‌ی مورگان و پترسن در سال (۱۹۶۸) روش جدیدی را برای محاسبه ضریب تطبیق برای ناوگان ناهمگن ارائه می‌کنند که در آن برای نرخ ورود کامیون، میانگین زمان چرخه کامیون‌ها استفاده می‌کند و برای نرخ سرویس دهی لودرهای مختلف از کم‌ترین مضرب مشترک زمان چرخه لودرها استفاده می‌کند [۷]. چاووسکی و همکاران در سال ۲۰۱۷ برای بهبود مدیریت ناوگان حمل‌ونقل با استفاده از ضریب تطبیق، یک مدل بر اساس روش‌های ابتکاری دیسپچینگ در ۳ ناوگان ناهمگن ارائه کرده است. با احتساب خرابی تجهیزات میانگین تولید از هر روش ابتکاری به تدریج ۲۵ درصد کاهش یافته است. برای ایجاد یک ناوگان ناهمگن در جهت افزایش تولید و کارایی بهتر ۱۸ سناریو اطراف ناوگان واقعی تعریف شد. نتایج این ۱۸ سناریو با عملیات واقعی و نسبت به یکی از روش‌های ابتکاری (MTCT) مقایسه شد. با توجه به سناریوها و ضریب تطبیق ناوگان ناهمگن متشکل از ۲۲ کامیون کوچک و ۳۶ کامیون بزرگ، ۱۶ شاول کوچک، ۴ شاول بزرگ تولید را ۱۰ درصد بالاتر از تولید برنامه‌ریزی شده و کاهش هزینه عملیاتی کامیون‌ها ۶ درصد، به دست آورده است [۸]. ژانگ در سال ۲۰۱۸ با استفاده از مدل شبیه‌سازی رویداد گسسته تحت عنوان مدل (TSJSim)* برای بهینه‌کردن عملیات حمل‌ونقل توسط شاول-کامیون استفاده کرده‌اند. همچنین این مدل شبیه‌سازی برای تخصیص کامیون‌ها از چهار مدل استفاده کرده است. TSJSim چهار ماژول تخصیص کامیون را ارائه می‌دهد: تخصیص کامیون ثابت (FTA)[†]، به حداقل رساندن نیاز تولید شاول (MSPR)[‡]، به حداقل رساندن زمان انتظار کامیون (MTWT) و به حداقل رساندن زمان نیم چرخه کامیون (MTSCT)[§] از جمله الگوریتم ژنتیک (GA)** و ارسال منجمد. الگوریتم (FDA)^{¶¶} از سناریوهای مختلف در مدل، برای دانستن بهتره تاثیرات، ضریب تطبیق، نقاط تصمیم‌گیری، استراتژی‌های تخصیص کامیون، بر عملکرد سیستم استفاده شده بود. نتیجه به دست آمده در وهله اول، استراتژی‌های تخصیص کامیون با اندازه مختلف ناوگان نتایج مشابهی داشتند اما با افزایش اندازه ناوگان تناژ تولید شده افزایش یافت و زمان صف با اندازه ناوگان رابطه مستقیم دارد. ضریب تطبیق برای هر ناوگان نزدیک به یک است [۹].

همچنین قاضیانی و همکاران در سال ۲۰۲۱ با مقایسه تخصیص ثابت کامیون‌ها و یک سیستم توزیع انعطاف‌پذیر با ناوگان ناهمگن کامیون‌ها که متشکل از ده کامیون ۳۵ تنی، دو کامیون ۶۰ تنی، دو کامیون ۱۰۰ تنی و پانزده کامیون ۱۴۴ تنی. نتیجه گرفته‌اند که سیستم توزیع انعطاف‌پذیر منجر به افزایش ۲۰ درصد تولید، ۲۵ درصد بهره‌وری و کاهش ۲۰ درصد زمان انتظار کامیون‌ها می‌شود [۱۰].

با توجه به کاربرد ضریب تطبیق، در این پژوهش با فرض ناهمگن بودن ناوگان به بررسی سیستم توزیع مناسب شاول-کامیون پرداخته و ضریب تطبیق برای معدن مس سرچشمه محاسبه شده است.

* Truck and shovel Jaamsim simulator

† Fixed Truck Assignment

‡ Minimising shovel production requirement

§ Minimising Truck Semi-cycle Time

** Genetic Algorithm

†† Frozen Dispatching Algorithm



۳- روش تحقیق

۳-۱ منطقه مورد مطالعه

معدن مس سرچشمه از نظر جغرافیایی در ۵۰ کیلومتری رفسنجان و ۱۶۰ کیلومتری جنوب غرب کرمان قرار دارد. داده‌های لازم برای این پژوهش از ناوگان شاول کامیون معدن مس سرچشمه جمع‌آوری شده است. ناوگان حمل‌ونقل معدن دارای ۱۶ شاول و ۳۸ کامیون است. ناوگان شاول این معدن از دو نوع شاول که ۶ شاول مدل TZ از شماره ۱۱ تا ۱۶ با حجم صندوقه ۱۱ متر مکعب است و شاول‌های شماره ۱۵ و ۱۶ تازه به این ناوگان پیوسته‌اند. از شماره ۱ تا ۱۰ این ناوگان شاول‌های P&H را شامل می‌شود. شاول‌های شماره ۱ تا ۸ این ناوگان دارای حجم صندوقه ۹ متر مکعب هستند و شاول‌های شماره ۹ و ۱۰ بزرگ‌ترین شاول‌های این معدن با حجم صندوقه ۱۵ متر مکعب هستند. از این تعداد شاول هر شیفت بین ۶ تا ۷ شیفت فعال هستند بسته به برنامه معدن تعداد شاول مورد استفاده در هر شیفت متغییر است ما بقی شاول‌ها یا به علت فرسودگی کنار گذاشته شده‌اند یا در اختیار تعمیرگاه قرار دارند که فعلاً مشغول بارگیری نمی‌باشند. ناوگان کامیون این معدن، ۳۴ کامیون ۱۳۶ تنی و ۴ کامیون ۲۴۰ تنی از شرکت بلاز شامل می‌شود. کامیون‌های ۲۴۰ تنی را بین شاول‌های ۹ و ۱۰ تقسیم می‌کنند که بیشترین حجم صندوقه را نسبت به بقیه شاول‌ها در اختیار دارند و زمان بارگیری این کامیون‌ها کاهش پیدا می‌کند. در هر شیفت ۶ تا ۷ شاول فعال است و به هر کدام از شاول‌ها ۵ تا ۶ کامیون تا پایان شیفت اختصاص می‌دهند.

داده‌های مورد نیاز در این پژوهش، زمان سیکل‌های بارگیری و باربری ناوگان شاول کامیون می‌باشند. زمان سیکل بارگیری شاول با یکدیگر متفاوت است که این تفاوت بستگی به اپراتور شاول، عمر شاول، جبهه کار شاول دارد. برای اندازه‌گیری زمان سیکل شاول‌ها در دو شیفت داده برداری انجام شده است. دلیل اینکه در دو شیفت این کار صورت گرفت به خاطر این بود که تقریب دقیق‌تری از سیکل شاول و کامیون و زمان‌های انتظار در دسترس باشد. زمان سیکل شاول برای پر کردن کامیون، تعداد سیکل لازم برای بارگیری کامیون، زمان انتظار شاول برای رسیدن کامیون، زمان انتظار کامیون برای بارگیری ثابت شد. همچنین زمان انتظار در سایت تخلیه (سنگ شکن، باطله) اندازه‌گیری شد. برای به دست آوردن بهره‌وری ناوگان ضریب تطبیق استفاده شده است. ضریب تطبیق فرمولی است که با استفاده از زمان سیکل کامیون و شاول علاوه بر بهره‌وری ناوگان، اندازه ناوگان را پیشینه می‌کند. با استفاده رابطه ۱ تا ۳ می‌توان ضریب تطبیق را برای کل ناوگان و هریک از شاول‌ها محاسبه کرد [۱۱].

$$= \frac{(\sum_{i \in X} n t_i) \times \sum_{j \in Y} [(\sum_{i \in X} n t_i) \times l_{cm}(ul)_j]}{(\sum_{j \in Y} n s_j \frac{l_{cm}(ul)_j}{ul_{ij}}) \times \sum_{i \in X} (n t_i t_{c_i})} MF \quad \text{رابطه ۱}$$

$l_{cm}(ul)$ کمترین مضرب مشترک زمان بارگیری برای همه شاول‌های نوع j ، ul_j مدت زمان سیکل شاول نوع j زمانی که مشغول بارگیری یک نوع کامیون است. $n s_j$ تعداد شاول‌های نوع j ، $l_{cm}(ul)_j$ کمترین مضرب مشترک زمان بارگیری همه کامیون‌ها با شاول نوع j ، $l_{cm}(ul_j)$ کمترین مضرب مشترک مدت زمان سیکل شاول نوع j زمانی که با کامیون نوع i کار می‌کند و $n t_i$ تعداد کامیون نوع i ، t_{c_i} زمان مورد نیاز برای بارگیری کامیون i با شاول، t_{c_i} مدت زمان سیکل کامیون i ، $n s$ تعداد شاول‌ها است.

$$= \frac{(\text{زمان سیکل شاول}) \times (\text{تعداد کامیون ها})}{(\text{زمان سیکل کامیون}) \times (\text{تعداد شاول})} MF \quad \text{رابطه ۲}$$

$$= \frac{(\sum_{i \in X} n t_i) \times \sum_{i \in X} (n t_i t_{c_i})}{n s \sum_{i \in X} (n t_i t_{c_i})} MF \quad \text{رابطه ۳}$$



داده‌های حاصل از بارگیری و باربری ناوگان حمل و نقل در جدول ارائه شده‌اند.

جدول ۱- اطلاعات مربوط به زمان بارگیری، سیکل و انتظار

شاول تراک	زمان یک سیکل (ثانیه)	میانگین زمان بارگزاری (ثانیه)	سیکل کامیون (دقیقه)	میانگین زمان انتظار (دقیقه)	میانگین زمان انتظار تراک (دقیقه)
۱۵	۳۳.۵	۱۷۴	۳۰.۲	۶.۶	۴.۵
۱۳۶ تنی					
۱۶	۳۸.۵	۲۱۰	۴۰.۵	۱۰.۴	۵
۱۳۶ تنی					
۱۱	۳۵.۴	۱۷۴.۵	۴۰.۵	۴.۲۵	۵.۵
۱۳۶ تنی					
۹	۳۹.۵	۱۲۸.۵	۴۱	۷.۲	۴.۷
۱۳۶ تنی					
۹	۳۹.۵	۲۲۸.۳	۳۸	۷.۲	۴.۷
۲۴۰ تنی					
۱	۳۳	۲۱۹	۴۳	۵.۷	۵
۱۳۶ تنی					
۱۰	۴۳	۱۳۹	۵۰	۸.۳	۶.۲
۱۳۶ تنی					
۱۰	۴۳	۲۳۰	۴۵	۸.۳	۶.۲
۲۴۰ تنی					

۳-۲ محاسبه ضریب تطبیق

با استفاده از زمان‌های به دست آمده از ناوگان شاول کامیون به محاسبه ضریب تطبیق برای کل ناوگان و هر یک از شاول‌ها به طور جداگانه صورت گرفته است. برای محاسبه ضریب تطبیق از رابطه‌های (۱) (۲) و (۳) استفاده شده است. ناوگان شاول کامیون معدن مس سرچشمه، به صورت ناوگان ناهمگن شناخته شده است. در این ناوگان میانگین زمان سیکل کامیون ۱۳۶ تنی ۲۴۴۸ (۴۰.۸ دقیقه) ثانیه و کامیون ۲۴۰ تنی ۲۴۹۰ (۴۱.۵ دقیقه) ثانیه برآورد شد. برای کامیون‌های ۱۳۶ تنی زمان بارگیری شاول یک ۲۱۹ ثانیه (۳.۶ دقیقه)، شاول ۹ و ده ۱۳۲ ثانیه (۲.۲ دقیقه) و برای شاول‌های یازده، پانزده و شانزده این عدد برابر ۱۹۲ ثانیه (۳.۲ دقیقه) است. مدت زمان بارگیری کامیون‌های ۲۴۰ تنی توسط شاول‌های ۹ و ده ۲۲۸ ثانیه (۳.۸ دقیقه) است. جدول ۲ با توجه به اعداد بالا و رابطه ۱ مقدار ضریب تطبیق محاسبه شد که این فرمول برای ناوگان ناهمگن استفاده می‌شود.



جدول ۲- اطلاعات مربوط به محاسبه ضریب تطبیق کل ناوگان

شماره شاول	سیکل کامیون کامیون (دقیقه)		کمترین مضرب مشترک زمان بارگیری
	۱۳۶ تنی	۲۴۰ تنی	
۱۶	۴۰.۵	-	۱۵۴۱۷۶
۱۱	۴۰.۵	-	
۱۵	۳۰/۲	-	
۹	۴۱	۳۸	
۱۰	۵۰	۴۵	
۱	۴۳	-	
کل ناوگان	۴۰.۸	۴۱.۵	

کمترین مضرب مشترک بارگیری کامیون ها از شاول‌ها برای محاسبه ضریب تطبیق برابر ۱۵۴۱۷۶ ثانیه است که در جدول ۲ نشان داده است که با جایگذاری در رابطه ۱ ضریب تطبیق برابر ۰/۴ بدست می‌آید.

جدول ۳- مقدار ضریب تطبیق ناوگان ناهمگن شاول کامیون معدن مس سرچشمه

ضریب تطبیق	کامیون ۱۳۶ تنی	کامیون ۲۴۰ تنی	شاول P&H	شاول tZ	اندازه ناوگان
۰/۴	۳۴	۴	۳	۳	۳۸

مقدار ضریب تطبیق برای ناوگان معدن مس سرچشمه که اطلاعات ناوگان در جدول ۳ نشان داده شده است، برابر ۰/۴ می‌باشد. این مقدار بدین معنی است که شاول‌ها باید منتظر کامیون بمانند از این رو میانگین زمان انتظار ثبت شده برای شاول‌های مورد مطالعه ۴۰۴ ثانیه (حدوداً ۶.۷ دقیقه) می‌باشد. در صنعت معدنکاری ترجیح به این است که کامیون منتظر شاول برای بارگیری بماند.

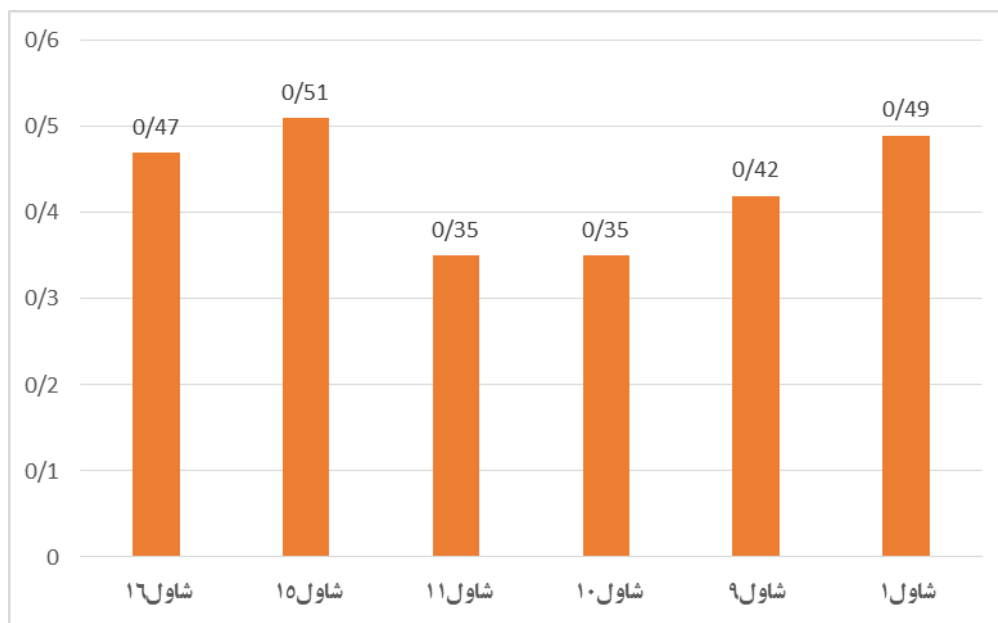
اطلاعات به دست آمده برای محاسبه ضریب تطبیق در دو شیفت است و شامل مواد معدنی و باطله است. ضریب تطبیق محاسبه شده براساس تعداد کامیونی است که معدن در هر شیفت به هر یک از شاول‌ها تخصیص داده است که معمولاً ۵ یا ۶ کامیون متغییر است. از بین شاول‌های معدن مس سرچشمه سه شاول از نوع TZ و سه شاول از نوع P&H انتخاب شده است که در جدول ۴ اطلاعات مربوط به ضریب تطبیق هر یک از شاول‌ها را نشان داده است.



جدول ۴- ضریب تطبیق برای هریک از شاول‌ها

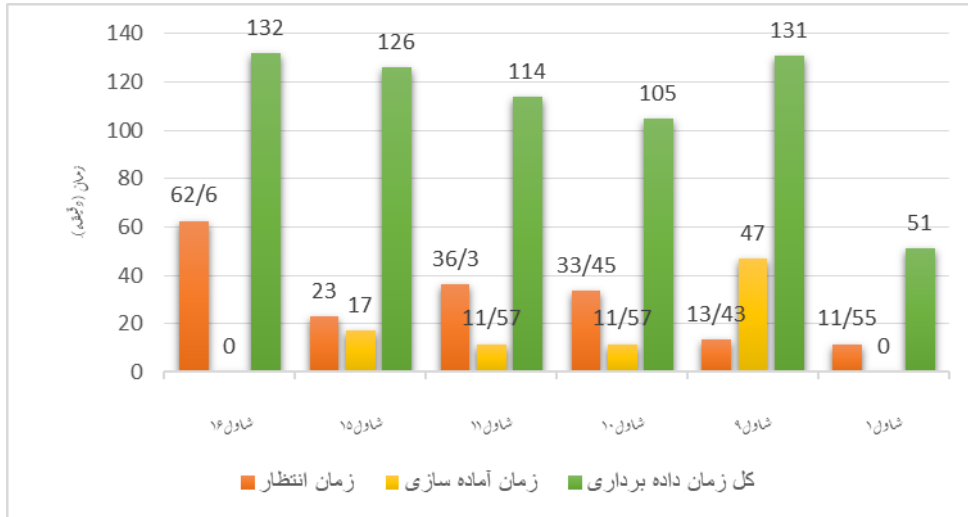
شماره شاول	سیکل کامیون (ثانیه)		ضریب تطبیق
	۲۴۰ تنی	۱۳۶ تنی	
۱۵	-	۱۶۸۳	۰/۵۱
۱۶	-	۲۲۲۸	۰/۴۷
۱۱	-	۲۴۳۶	۰/۳۵
۱۰	۲۳۶۰	۲۵۹۰	۰/۳۹
۹	۲۱۴۶	۲۱۷۳	۰/۴۲
۱	-	۲۱۹۹	۰/۴۹

مطابق با شکل ۱ ضریب تطبیق شاول‌ها کمتر از یک می‌باشند و این نشان دهنده این است که شاول‌ها زمان انتظار رسیدن کامیون‌ها سپری کرده‌اند.

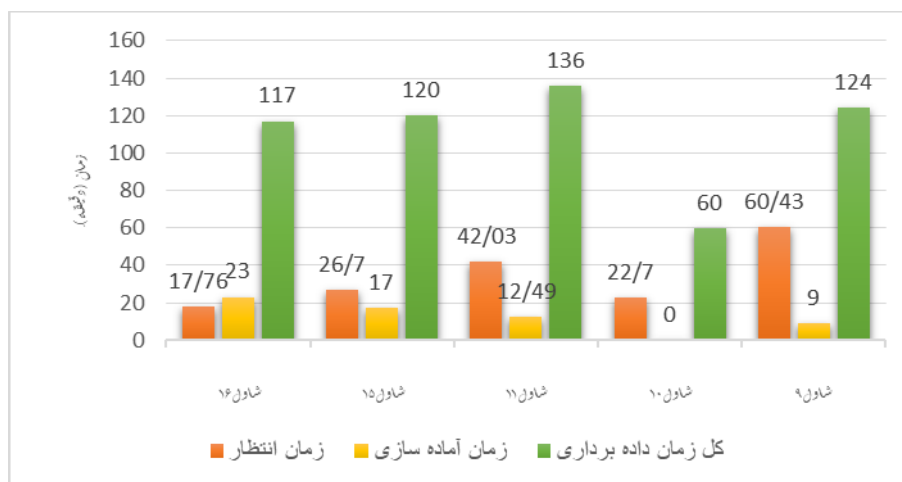


شکل ۱- نمودار ضریب تطبیق شاول‌های مورد بررسی معدن مس سرچشمه

شکل ۲ نشان دهنده زمان انتظار شاول‌ها نسبت به مدت زمان داده برداری است. شاول شانزده نسبت به دیگر شاول‌ها بیشترین زمان انتظار را به خود اختصاص داد. شکل ۳ نشان داد بیشترین زمان انتظار مربوط به شاول ۹ و ۱۱ است.



شکل ۲- نمودار زمان انتظار شاول‌ها در شیفت اول



شکل ۳- نمودار زمان انتظار شاول‌ها در شیفت دوم

۴- بررسی سیستم توزیع معدن مس سرچشمه

معدن مس سرچشمه در سه شیفت کاری مشغول به استخراج مواد معدنی و باطله است. در هر شیفت یک ساعت زمان استراحت و بین دو شیفت یک ساعت به عنوان تعویض شیفت در نظر گرفته شده است. در این یک ساعت زمان استراحت شاول‌ها به دو گروه تقسیم می‌شوند. گروه اول در طول زمان استراحت گروه دوم عملیات استخراج را ادامه می‌دهد و زمانی که زمان استراحت گروه دوم به پایان رسید. گروه اول عملیات استخراج را متوقف کرده و به یک ساعت زمان استراحت خود می‌پردازند. گروه دوم عملیات استخراج را ادامه می‌دهند. زمان جابه‌جا شدن اپراتورها بین دو شیفت یک لودر با استفاده از مواد معدنی ای که در کنار سنگ شکن اولیه دپو شده‌اند، سنگ شکن اولیه را تغذیه می‌کند. تا شاول‌ها و کامیون‌ها عملیات استخراج را شروع کنند. در طول عملیات استخراج نیز این لودر مشغول تغذیه سنگ شکن اولیه هست. سیستم توزیع کامیون‌ها در معدن سرچشمه از نوع سیستم توزیع ثابت است. دو نوع سیستم توزیع وجود دارد. نوع اول سیستم توزیع ثابت که در ابتدای هر شیفت تعداد معینی از کامیون‌ها را به هر یک از شاول‌ها تا پایان شیفت



کاری اختصاص می‌دهند. نوع دوم تخصیص پویا است. در سیستم تخصیص پویا با توجه به الگوریتمی که در نظر گرفته می‌شود. کامیون‌ها به شاول‌ها تخصیص پیدا می‌کنند. این الگوریتم می‌تواند، بر اساس برنامه ریزی ریاضی، شبیه سازی رویداد گسسته و یا الگوریتم‌های ابتکاری باشد. در سیستم توزیع پویا برخلاف سیستم توزیع ثابت، یک کامیون تنها از یک شاول بارگیری نکند و یا صرفاً موادی که حمل می‌کند مواد معدنی نباشد. یک کامیون از همه شاول‌ها می‌تواند بارگیری را انجام دهد. در معدن مس سرچشمه از سیستم توزیع ثابت استفاده شده بود. در ابتدای شیفت تعداد مشخصی از کامیون‌ها به هریک از شاول‌ها اختصاص پیدا می‌کرد. در طول شیفت ممکن بود کامیون‌ها دچار نقص فنی شوند و قادر به ادامه عملیات باربری نباشند. در این مواقع کامیون دیگری وارد خط تولید می‌شود یا کامیون دیگری که مشغول تولید است جایگزین شده و به شاول مورد نظر برای بارگیری مراجعه می‌کند تا زمانی که کامیونی که دچار نقص فنی شده به عملیات باربری و بارگیری برگردد. در صورت کمبود کامیون در ناوگان حمل‌ونقل اجرای این سیستم می‌تواند زمان انتظار شاول را افزایش دهد. که باتوجه به مقدار ضریب تطبیق ناوگان حمل‌ونقل معدن مس سرچشمه که کمتر از یک می‌باشد که زمان انتظار شاول‌ها افزایش پیدا کرده است.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با بررسی ناوگان حمل‌ونقل ناهمگن معدن مس سرچشمه و با توجه به محاسبات صورت گرفته همچنین مشاهدات میدانی مشکلات زیر به دست آمد:

- ۱- زمان انتظار زیاد شاول‌ها برای رسیدن کامیون
 - ۲- مناسب نبودن تعداد کامیون در ناوگان حمل‌ونقل
 - ۳- زمان انتظار طولانی کامیون‌ها در صف سنگ شکن برای تخلیه بار (وجود تنها یک سنگ شکن اولیه در معدن)
 - ۴- نبود فضای کافی جهت تخلیه مواد نزدیک سنگ شکن برای جلوگیری از طولانی شدن صف انتظار سنگ شکن
- نکات فوق‌الذکر به عنوان عوامل مؤثر در وجود آمدن زمان انتظار برای شاول‌ها و کامیون‌ها شناخته می‌شوند که مقدار این زمان به شرح زیر است:

۱. کمبود کامیون در ناوگان با توجه به مقدار ضریب تطبیق برای کل ناوگان باعث انتظار شاول برای رسیدن کامیون‌ها می‌شود که در معدن مس سرچشمه این زمان انتظار برابر ۴۰۴ ثانیه است.
۲. طولانی بودن زمان انتظار کامیون‌ها در صف سنگ شکن به دلیل وجود تنها یک سنگ شکن اولیه در معدن است که به طور میانگین این عدد برای هر کامیون ۳۱۷ ثانیه می‌باشد.
۳. عدم نظارت در سایت بارگیری در حالیکه ناوگان با کمبود کامیون مواجه است باعث انتظار کامیون در سایت بارگیری می‌شود که به طور میانگین ۲۹۰ ثانیه وقت تلف شده سپری می‌کنند.
برای برطرف کردن مسائل ذکر شده، نکات زیر متناسب با شرایط معدن پیشنهاد شده است:
۱. سیستم توزیع برای معدن مس سرچشمه استفاده از روش (MSWT) برای کاهش زمان انتظار شاول‌ها جهت افزایش بهره‌وری و تولید ناوگان در نتیجه کاهش هزینه‌ها عملیاتی ناوگان، از نوع روش‌های ابتکاری پیشنهاد می‌شود.
۲. نظارت بر عملیات بارگیری و باربری برای جلوگیری از زمان تلف شده توسط اپراتور کامیون‌ها در سایت بارگیری پیشنهاد می‌شود.
۳. ایجاد فضای کافی جهت تسریع عملیات تخلیه در سنگ شکن اولیه.



تشکر

بدینوسیله از شرکت ملی مس ایران به عنوان حامی این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را داریم.

منابع و مأخذ

- 1- Howard, J., "Introductory mining engineering," Book Introductory mining engineering, Series Introductory mining engineering, ed., Editor ed.^eds., Academic Page, 2021, pp.
- 2- Hai, D.V., "Optimization of truck and shovel for haulage system in the cao son mine, Viet Nam using queuing theory," Prince of Songkla University, 2016.
- 3- Zeng, W., Baafi, E., and Walker, D., "A simulation model to study bunching effect of a truck-shovel system", *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, Vol. 33, pp. 102-117, 2019.
- 4- Zhang, Y., Zhao, Z., Bi, L., Wang, L., and Gu, Q., "Determination of truck-shovel configuration of open-pit mine: a simulation method based on mathematical model", *Sustainability*, Vol. 14, pp. 12338, 2022.
- 5- Dindarloo, S., Osanloo, M., and Frimpong, S., "A stochastic simulation framework for truck and shovel selection and sizing in open pit mines", *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, Vol. 115, pp. 209-219, 2015.
- 6- Chaowasakoo, P., "Matching truck-and-shovel operations in open-pit mines using statistical data-dispatching strategies, match factor, and age-based maintenance", Vol., 2017.
- 7- Nehring, M., Knights, P., Kizil, M., and Hay, E., "A comparison of strategic mine planning approaches for in-pit crushing and conveying, and truck/shovel systems", *International journal of mining science and technology*, Vol. 28, pp. 205-214, 2018.
- 8- Chaowasakoo, P., Seppälä, H., Koivo, H., and Zhou, Q., "Improving fleet management in mines: The benefit of heterogeneous match factor", *European Journal of Operational Research*, Vol. 261, pp. 1052-1065, 2017.
- 9- Zeng, W., "A simulation model for truck-shovel operation", Vol., 2018.
- 10- Ghaziania, H.H., Monjezi, M., Mousavi, A., Dehghani, H., and Bakhtavar, E., "Design of loading and transportation fleet in open-pit mines using simulation approach and metaheuristic algorithms", *Journal of Mining and Environment*, Vol. 12, pp. 1177-1188, 2021.
- 11- Burt, C.N., and Caccetta, L., "Match factor for heterogeneous truck and loader fleets", *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, Vol. 21, pp. 262-270, 2007.