



تحلیل ناوگان شاول کامیون معدن مس سرچشمه با استفاده از ضریب تطبیق

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

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی معدن، s.ghadery@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

در بین روش‌های مختلف حمل‌ونقل مواد معدنی یا باطله روش شاول کامیون کارآمدترین سیستم حمل‌ونقل مواد است. از نقطه نظر عملیاتی، نحوه تخصیص بهینه کامیون به شاول از اهمیت بالایی برخوردار است. دلیل این کارآمد بودن این روش می‌تواند به انعطاف پذیر در برابر مسیرهای کوتاه و طولانی و کار کردن در شرایط مختلف آب و هوایی است. استخراج معدن شامل حفاری، انفجار، بارگیری و باربری می‌شود که در مسئله هزینه‌های استخراج معدن، بیشترین هزینه مربوطه به بخش بارگیری و باربری معدن می‌شود که برای مدیریت ناوگان حائز اهمیت است. روش شاول - کامیون متداول‌ترین روش در روش‌های حمل‌ونقل است. ضریب تطبیق یک شاخص برای نشان دادن بهره‌وری ناوگان شاول کامیون است علاوه بر این با توجه به مقدار ضریب تطبیق می‌توان تخمینی از تعداد مناسب کامیون در ناوگان بدست آورد. 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 بودند که مقدار ضریب تطبیق برابر مقدار ضریب تطبیق برای ناوگان حمل‌ونقل معدن 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. میانگین زمان انتظار شاول‌ها ۴۰۴ ثانیه، زمان انتظار کامیون برای بارگیری ۲۹۰ ثانیه و زمان انتظار کامیون در صف سنگ شکن ۳۱۷ ثانیه به دست آمد.

کلیدواژه: مواد معدنی، ذغال سنگ، مس سرچشمه

۱- مقدمه

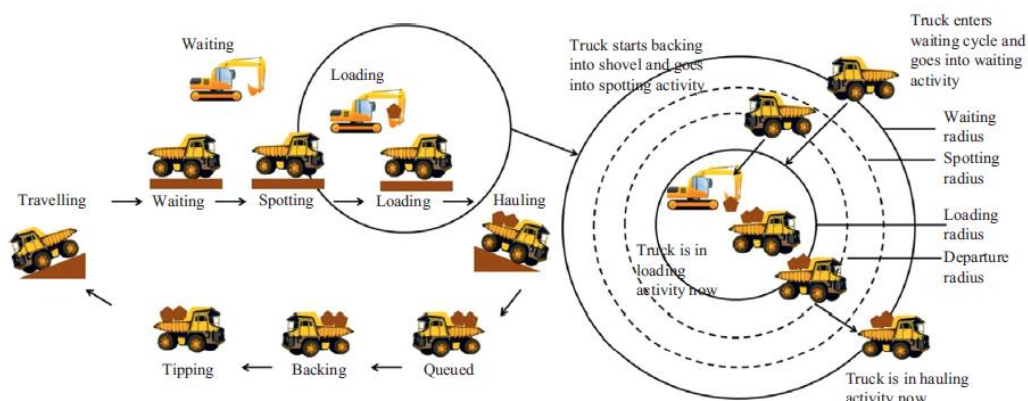
هدف اصلی یک فعالیت معدنی، تولید مواد معدنی برای مصرف جامعه است. در صورت موفقیت‌آمیز بودن فعالیت، تولید مواد معدنی با کمترین هزینه انجام می‌شود و مابقی سود صرف توسعه معادن و استخراج سنگ معدن می‌شود. یکی از پارامترهای مهم در هر معدن، انتخاب ماشین‌آلات و سازگاری آن است. به‌طور کلی انتخاب ماشین‌آلات به‌منظور 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 به‌سرعت 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 تبدیل شده 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].

۱-۲ سیستم حمل‌ونقل 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]. در شکل ۱-۲ به خوبی عناصر اصلی عملیاتی برای یک چرخه کامیون شامل استقرارگیری، بارگیری، باربری، تخلیه، حمل خالی، صف و تأخیرهای عملیاتی را نشان داده است [۳]. 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]. از طرفی در سیستم حمل‌ونقل، شاول دارای برد کوتاه است و هدف اصلی آن بارگیری است. از سوی دیگر کامیون تقریباً محدودیتی در حمل‌ونقل ندارد اما توانایی بارگیری خودش را نیز ندارد. با چشم پوشی از ماشین‌هایی که اساساً برای مسافت‌های کوتاه هستند، کامیون به‌عنوان وسیله‌ای بسیار انعطاف‌پذیر برای جابجایی مواد معدنی در مسافت‌های طولانی در نظر گرفته می‌شود. سیستم حمل‌ونقل کامیون طراحی شده است تا عملیات خارج از محدوده شهری را پوشش دهد که عمدتاً از موتور دیزلی استفاده می‌کنند. نسبت به رقبای خود مزایای تحرک عالی با فشردگی کار آن‌ها، هزینه نیروی انسانی منجر به حرکت مداوم به سمت افزایش ظرفیت کامیون‌ها شده است. برای بهبود استقرار چنین کامیون‌هایی، کنترل رادیویی به‌طور فزاینده‌ای مورداستفاده قرار گرفته است [۶]. در شکل ۱-۲ چرخه کاری شاول کامیون را به‌طور کاملاً توضیح داده است.



شکل ۱ چرخه کاری شاول کامیون [۷]



۳-۱ اهمیت ناوگان شاول کامیون

رکود طولانی مدت قیمت‌های بین‌المللی کالاها تغییرات عمده‌ای را در بخش منابع ایجاد کرده است. کاهش هزینه‌ها به منظور بهبود بهره‌وری به تمرکز اصلی برای اکثر تولیدکنندگان منابع تبدیل شده است تا رقابتی باقی بمانند. حمل‌ونقل مواد توسط شاول کامیون و نوار نقاله بخش عمده‌ای از حمل‌ونقل مواد معدنی معادن سطحی را بر عهده گرفته‌اند. که در این بین شاول کامیون بیشترین استفاده را دارد. شاول کامیون به دلیل انعطاف‌پذیری و صرفه‌جویی در مقیاس بزرگ، در ۹۵ درصد ناوگان معادن سطحی جهان نسبت به نوار نقاله به کارگرفته‌اند. حمل‌ونقل از طریق نوار نقاله لازمه دانه بندی مناسب مواد برای نوارنقاله و داشتن خوراک دهند که بتوان نوار نقاله را تغذیه کند که از این رو سیستم نوار نقاله همراه با سنگ شکن داخل پیت به کار برده می‌شود. حمل و نقل کامیون یک عملیات بسیار پر انرژی و لازمه داشتن نیروی کار زیاد به طوری برای هر کامیون ۳ اپراتور برای سه شیفت در شبانه روز است. همچنین با خطرات بهداشتی و ایمنی شغلی قابل توجهی همراه است و از طریق تولید گرد و غبار و صدا بر محیط زیست تأثیر می‌گذارد. از این رو در نظر گرفتن سیستم توزیع مناسب، تعداد مناسب ناوگان و انتخاب ظرفیت کامیون‌ها متناسب با حجم صندوقه شاول‌ها برای کاهش هزینه‌ای این سیستم اهمیت و ضرورت این روش را بالا برده است. [۸، ۹] انتخاب و اندازه ضعیف تجهیزات می‌تواند منجر به هزینه‌های عملیاتی بالاتر و عملکرد اقتصادی پایین‌تر عملیات معدن شود. با این حال، انتخاب هوشمندانه و اندازه تجهیزات به روشی سازگار با یکدیگر و با شرایط محیطی و عملیاتی می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌ها و صرفه‌جویی قابل توجهی شود؛ بنابراین، انتخاب تجهیزات و اندازه ناوگان بارگیری و به‌ویژه اندازه ناوگان حمل‌ونقل که مواد را جابجا می‌کند تأثیر عمده‌ای بر کارایی کل ناوگان و هزینه‌های عملیاتی دارد [۱۰]. سیستم کامیون و شاول به دلیل نرخ تولید بالا، انعطاف‌پذیری عالی، هزینه‌های عملیاتی و سرمایه نسبتاً پایین و قابلیت نگهداری خوب، روش غالب بارگیری و جابجایی مواد در معادن روباز است [۵].

۴-۱ پیشینه پژوهش

برت و کاتاكا در سال ۲۰۰۷ 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. ناوگان ناهمگن لودر - کامیون متشکل از ۱۵ کامیون ۱۵۰ تنی و ۷ کامیون ۲۳۰ تنی با دو لودر با ظرفیت ۶۰ و ۳۸ تنی، مقدار ضریب تطبیق برابر ۰.۹۹۴ به دست می‌آید که نزدیک به ۱ است. در نتیجه این روش محاسبه ضریب تطبیق برای ناوگان ناهمگن دقت بیشتری دارد [۱۱]. 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 [۱۲]. ژانگ در سال ۲۰۱۸ با استفاده از مدل شبیه‌سازی رویداد گسسته تحت عنوان مدل (TSJSim)[†] برای بهینه کردن 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)[‡].

* Minimum truck cycle time

† Truck and shovel Jaamsim simulator

‡ Fixd Truck Assignment



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 [۱۳]. در سال ۲۰۱۸ دباغ و با قرپور رابطه ضریب تطبیق را توسعه دادند و با الگوریتم کلونی مورچه‌ها مقایسه کردند. در مطالعه برای ناوگان ناهمگن ضریب تطبیق محاسبه شد. به دلیل ناهمگن بودن ناوگان تخصیص کامیون‌ها به لودرها پیچیده است به همین خاطر از ضریب تطبیق دقیق استفاده شد. ضریب تطبیق دقیق برای هر دستگاه بارگیر جدا محاسبه می‌شود. در الگوریتم کلونی مورچه‌ها، زمان بیکاری ماشین‌ها را در نظر نمی‌گیرد. و این باعث می‌شود که الگوریتم کلونی مورچه‌های کم یا بیش از حد تعداد مناسب کامیون به لودرها ارسال کند. با مقایسه این دو می‌توان فهمید که ضریب تطبیق دقیق نرخ تولید را ۱۰۶ درصد افزایش داده ولی الگوریتم کلونی مورچه‌ها نرخ تولید را ۱ درصد افزایش داده بنابراین این ضریب تطبیق دقیق برای ناوگان ناهمگن بسیار مفید تر است [۱۴]. در سال ۲۰۱۹ دباغ و باقر پور برای بهینه‌سازی ناوگان حمل‌ونقل با الگوریتم رقابتی امپریالیستی، افزایش مواد معدنی در راستای ظرفیت سنگ شکن معدن. مشخصات ناوگان معدن ۲۳ کامیون ۳۵ تنی و ۴ کامیون ۵۰ تنی و ۸ دستگاه بارگیر را شامل می‌شود. در این مطالعه از ضریب تطبیق برای پیدا کردن احتمال بیکاری دستگاه‌های بارگیری با توجه به تعداد کامیون، ظرفیت و زمان چرخه کامیون‌های اختصاص داده شده به هر دستگاه بارگیری استفاده شده است. ضریب تطبیق برای هر دستگاه بارگیر به طور جداگانه محاسبه می‌شود. الگوریتم رقابتی امپریالیستی بهترین ناوگان را انتخاب می‌کند. در نتیجه زمان بیکاری دستگاه بارگیری به حداقل کاهش پیدا کرده و تولید را ۴۰۴ درصد افزایش می‌دهد [۱۵]. اوزدمیر و کمرال در سال ۲۰۱۹ یک سیستم دیسپچینگ که شامل دو مرحله است را برای افزایش بهره‌وری ناوگان شاول کامیون ارائه کردند. مرحله اول با یک روش بهینه‌سازی بر پایه شبیه‌سازی که عدم قطعیت‌های معدن را نیز در نظر گرفته است. مرحله دوم کامیون‌ها با برنامه‌ریزی خطی به طور هم‌زمان به شاول‌ها اعزام می‌شوند. در این مرحله ضریب تطبیق به عنوان معیار سازگاری تجهیزات ناوگان حمل‌ونقل با یکدیگر به کار برده می‌شود. نتیجه، این مدل با افزایش ۹۰۴٪ تولید نسبت به سیستم قبلی معدن عملکرد بهتری را ارائه کرده است [۱۶]. چنگ در سال ۲۰۱۹ با استفاده از فرمول برت برای ناوگان ناهمگن معدن زغال سنگ بلاو موجان به محاسبه ضریب تطبیق پرداخت. مقدار ضریب تطبیق برای این معدن با ناوگانی که از ۷ کامیون و ۴ بیل مکانیکی تشکیل شده بود برابر ۱۰۰۹ بدست آمد که این مفهوم را می‌رساند که در این ناوگان کامیون‌ها در سایت بارگیری زمان انتظار برای بارگیری سپری می‌کنند [۱۷]. ایندراجایا و همکاران در سال ۲۰۲۰ برای حل مشکل معدن کنانای که دارای سه پیت، کنانگا، داهلیا و آنگرگک از ضریب تطبیق و تئوری صف استفاده کرده‌اند. مشکل این معدن بهینه‌نبودن مدیریت ناوگان حمل‌ونقل، بالا بودن زمان دسترسی به دلیل عدم تطابق تعداد باربرها با لودرها و ظرفیت بیش از حد کامیون‌ها که موجب ایجاد صف شده بود. بدین ترتیب با تخمینی که از ضریب تطبیق و تحلیلی که بر اساس تئوری صف به دست آمد

* Minimising shovel production requirement

† Minimum truck wait time

‡ Minimising Truck Semi-cycle Time

§ Genetic Algorithm

** Frozen Dispatching Algorithm



تعداد مناسب به این صورت تبدیل شد. ۲ کامیون از ناوگان آنگرگک به داهلیا و کنانگا داده شد. ناوگان آنگرگک با ۱ لودر و ۶ کامیون دارای ضریب تطبیق ۱.۰۱. ناوگان داهلیا ۱ لودر و ۵ کامیون دارای ضریب تطبیق ۰.۹۸ و ناوگان کنانگا با ۱ لودر و ۵ کامیون با ضریب تطبیق ۱.۰۴. با استفاده از شبیه‌سازی معدن‌کنانایی به هدف برنامه ماهان مربوطه با قابلیت بالا دست می‌یابند [۱۸]. 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 [۱۹].

۲- روش انجام کار

۲-۱ ضریب تطبیق

صنعت معدنکاری به طور پیوسته به دنبال راه حلی برای پیش‌بینی بهره‌وری و انتخاب بهترین ناوگان برای عملیات بارگیری و باربری مواد معدنی است. مفهوم ضریب تطبیق معیاری از بهره‌وری ناوگان را فراهم و به بهبود مدیریت ناوگان نیز هم کمک می‌کند. این نسبت به این دلیل نامیده می‌شود که می‌توان از آن برای مطابقت با نرخ ورود کامیون به نرخ سرویس دهی شاول استفاده کرد. این نسبت با گنجاندن زمان بارگیری در هر دو زمان چرخه شاول و کامیون، خود را از ظرفیت‌های تجهیزات و از این نظر، بهره‌وری بالقوه حذف می‌کند. همچنین، این فرمول نسبت زمان رسیدن کامیون به نرخ سرویس دهی شاول را ثبت می‌کند. داگلاس در سال ۱۹۶۴ برای بهبود عملکرد شاول رابطه‌ای را ارائه داده، که با توجه به این رابطه تعداد مناسبی از کامیون‌ها را به شاول اختصاص داده است. در سال ۱۹۶۸ پیترسون و مورگان رابطه‌ی ساده تری نسبت به رابطه داگلاس را ارائه داده‌اند و اسم رابطه خود را ضریب تطبیق (MF)* نام‌گذاری کردند. ضریب تطبیق، نسبت رسیدن نرخ کامیون به نرخ سرویس دهی شاول گفته می‌شود. از ضریب تطبیق می‌توان برای ارائه بهره‌وری ناوگان شاول کامیون استفاده کرد. با ضریب تطبیق می‌توان رابطه‌ی بین تجهیزات با یکدیگر را یافت. بدین صورت که اگر ضریب تطبیق بیش از ۱ باشد، این مفهوم را می‌رساند که تعداد کامیون‌ها در ناوگان بیش از حد است و باید در صف بایستند. اگر ضریب تطبیق مطابق با ۱ باشد یعنی تعداد کامیون‌ها در سیستم مناسب است و زمان زیادی را در صف نمی‌گذرانند. در آخر اگر ضریب تطبیق کمتر از ۱ باشد کمبود کامیون در سیستم وجود دارد و شاول‌ها باید منتظر رسیدن کامیون باشند [۲۰، ۱۵، ۱۱].

داگلاس رابطه‌های (۱) (۲) و (۳) را منتشر کرد که تعداد مناسبی از کامیون‌ها، که تعادلی در خروجی شاول تعیین کرده باشد. زمان چرخه کامیون به عنوان مجموع زمان‌های حمل و نقل بدون در نظر گرفتن زمان انتظار تعریف می‌شود و شامل زمان حمل، تخلیه و بازگشت است. این فرمول نسبت بهره‌وری لودر به بهره‌وری کامیون است، اما از آنجایی که از ظرفیت تجهیزات استفاده می‌کند، بهره‌وری بالقوه تجهیزات را نیز در نظر گرفته است. لازم به ذکر است که فرمول داگلاس تنها برای یک لودر یا شاول محدود شده است [۱۱].

* Match factor



$$\text{Loader productivity} = \frac{(\text{loader capacity})(\text{loader efficiency})}{(\text{loader cycle time})} \quad (1)$$

$$\text{truck productivity} = \frac{(\text{truck capacity})(\text{number of truck})}{(\text{truck cycle time})} \quad (2)$$

$$M_b = \frac{(\text{Loader productivity})}{(\text{truck productivity})} \quad (3)$$

رابطه (۴) حالت ساده‌تری از رابطه داگلاس را بیان می‌کند که توسط مورگان پترسون ارائه شد به شرح زیر می‌باشد [۱۵].

$$MF = \frac{(\text{number of truck})(\text{loader cycle time})}{(\text{number of loaders})(\text{truck cycle time})} \quad (4)$$

رابطه مورگان پترسن برای ناوگان همگن و با فرض اینکه یک مورد شاول یا لودر در ناوگان وجود دارد ارائه شده است. برت و کاتاکا رابطه‌ای را برای ناوگان ناهمگن که هم شاول‌ها یا لودرها در آن ناهمگن باشند یعنی از یک نوع نباشند و هم کامیون‌ها ناهمگن باشند و برای در نظر گرفتن انواع کامیون در ناوگان از میانگین زمان چرخه کامیون‌ها در رابطه خود استفاده کرده است و این رابطه با توجه به نرخ ورود کامیون و نرخ سرویس دهی شاول و یا لودر ارائه شده است [۱۱].

رابطه (۵) نرخ ورود کامیون (TAR)* را به سایت بارگیری محاسبه می‌کند.

$$TAR = \frac{(\text{number of truck})}{(\text{truck cycle time})} \quad (5)$$

رابطه (۶) نحوه محاسبه نرخ سرویس دهی (LSR) لودر یا شاول را ارائه می‌دهد.

$$LSR = \frac{(\text{number of truck served})}{(\text{total loader cycle time})} \quad (6)$$

در نهایت رابطه (۷) را برای محاسبه ضریب تطبیق برای کل ناوگان ناهمگن و برای بدست آورده کارایی کل ناوگان ارائه کرد. در این رابطه برای محاسبه چرخه لودرها یا شاول‌ها زمانی که کامیون‌ها را بارگیری می‌کنند از کمترین مضرب مشترک استفاده کرده است.

$$MF = \frac{(\sum_{i \in X} nt_i) \times \sum_{j \in Y} [(\sum_{i \in X} nt_i) \times lcm(ul)_j]}{(\sum_{j \in Y} ns_j \frac{lcm(ul)_j}{ul_{ij}}) \times \sum_{i \in X} (nt_i tc_i)} \quad (7)$$

$(lcm(ul))$ 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. ns_j تعداد شاول‌های نوع j ، $lcm(ul)$ کمترین مضرب مشترک زمان بارگیری همه

* Truck ratio resive

† Loader service ratio



کامیون‌ها با شاول نوع z ، $lcm(ul)$ کمترین مضرب مشترک مدت زمان سیکل شاول نوع z زمانی که با کامیون نوع i کار می‌کند. در فرمول ضریب تطبیق nt_i تعداد کامیون نوع i ، tl_i زمان مورد نیاز برای بارگیری کامیون i با شاول، tc_i مدت زمان سیکل کامیون i ، ns تعداد شاول.

برای محاسبه ضریب تطبیق هر یک از شاول‌ها با توجه به تعداد کامیونی که به آنها اختصاص داده شده می‌توان از روابط (۸) و (۹) زیر استفاده کرد.

$$MF = \frac{(\text{زمان سیکل شاول}) \times (\text{تعداد کامیون ها})}{(\text{زمان سیکل کامیون}) \times (\text{تعداد شاول})} \quad (۸)$$

زمانی از معادله (۸) استفاده می‌شود که یک شاول و یک نوع کامیون وجود دارد [۱۱]

$$MF = \frac{(\sum_{i \in X} nt_i) \times \sum_{i \in X} (nt_i tl_i)}{ns \sum_{i \in X} (nt_i tc_i)} \quad (۹)$$

از معادله شماره (۹) زمانی استفاده می‌شود که در ناوگان، شاول‌ها یک نوع باشند اما کامیون‌ها انواع مختلفی در ناوگان وجود داشته باشد [۱۶].

۲-۲ معدن مورد مطالعه

معدن مورد مطالعه معدن مس سرچشمه رفسنجان است. این معدن 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 پیوسته بودند. 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. ناوگان شاول کامیون معدن مس سرچشمه شامل ۱۶ شاول می‌باشد که از این تعداد، ۶ دستگاه شاول‌های TZ چینی و مابقی، شاول‌های P&H آمریکایی تشکیل داده است. این ناوگان دارای ۳۸ کامیون بلاز از کشور بلاروس است که از این تعداد ۴ دستگاه ۲۴۰ تنی و ۳۴ دستگاه ۱۳۶ تنی تشکیل شده است. این ناوگان در مکان‌های مختلف پیت مشغول به استخراج مواد معدنی و انتقال مواد باطله به دامپ مربوطه است. از میان ۱۶ شاول موجود در معدن مس سرچشمه، ۶ شاول برای بررسی‌های مربوطه انتخاب شدند که سه شاول از خانواده TZ و سه شاول از خانواده P&H می‌باشند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ما بقی شاول‌ها به دلیل فرسودگی، از رده خارج می‌باشند؛ مانند شاول شماره ۴ یا در اختیار بخش تعمیرگاه معدن می‌باشند مانند شاول ۳ و یا به طور مداوم در هر شیفت برنامه کاری نداشتند. در این پژوهش انتخاب شاول‌ها به صورت، دو تا از شاول‌های جدید و بزرگترین شاول‌ها و یک شاول هم از قدیمی‌های این معدن انتخاب شود که شاول‌های شاول‌های ۱۵ ۱۶ ۹ ۱۰ ۱۱ ۱ به طور فعال در معدن شروع به کار بودند که برای داده برداری و محاسبه ضریب تطبیق انتخاب شدند.



۳- محاسبه ضریب تطبیق و تحلیل ناوگان

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 فرمول‌هایی که در فصل سوم گفته شده، استفاده شده است. ناوگان شاول کامیون معدن مس سرچشمه، به صورت ناوگان ناهمگن شناخته شده است. ناوگان ناهمگن بدین معنی است که ماشین‌آلات متفاوتی از نظر حجم یا ظرفیت وجود داشته باشد. در ناوگان حمل‌ونقل معدن مس سرچشمه ۳ نوع شاول با حجم صندوقه متفاوت و دو نوع کامیون با ظرفیت متفاوت وجود دارد؛ لذا این ناوگان، ناوگان ناهمگن نام گرفت. 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 نه 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 نه و ده ۲۲۸ ثانیه (۳.۸ دقیقه) است. در جدول ۱ اطلاعات مربوط به محاسبه ضریب تطبیق کل ناوگان معدن مس سرچشمه آورده شده است.

جدول ۱ 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	MF=۰/۴

کمترین مضرب مشترک بارگیری کامیون‌ها از شاول‌ها برای محاسبه ضریب تطبیق برابر ۱۵۴۱۷۶ ثانیه است که در جدول ۱ نشان داده است که با جایگذاری در فرمول (۷) ضریب تطبیق برابر ۰/۴ بدست می‌آید.

جدول ۲ مقدار ضریب تطبیق ناوگان ناهمگن شاول کامیون معدن مس سرچشمه

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

مقدار ضریب تطبیق برای ناوگان معدن مس سرچشمه که اطلاعات ناوگان در جدول ۲ نشان داده 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



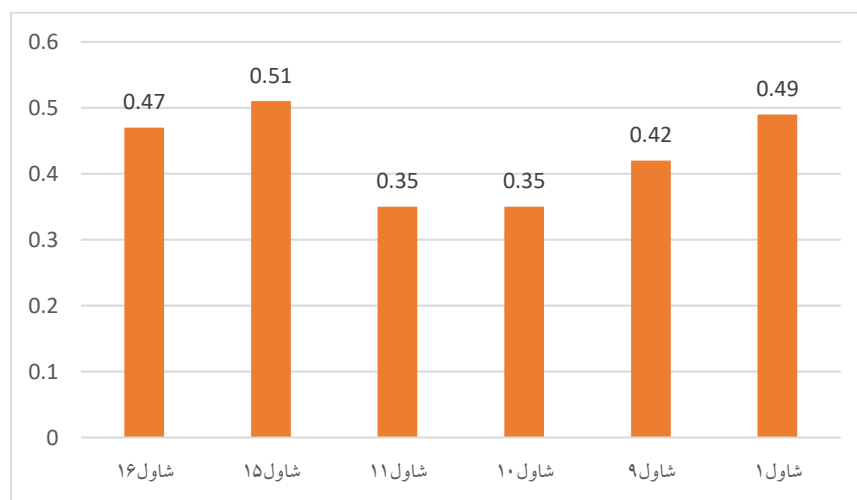
بماند. در ادامه مقدار ضریب تطبیق با استفاده از معادله (۸) برای هر شاول جدا محاسبه شده است و برای شاول ۹ و ۱۰ از فرمول (۹) استفاده شده است زیرا کامیون‌های این دو شاول همگن نیستند. این تعداد کامیون برای هر شاول طبق شرایط معدن که در ابتدای هر شیفت به شاول‌ها اختصاص داده بود در نظر گرفته شد.

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 ۳ اطلاعات مربوط به ضریب تطبیق هر یک از شاول‌ها را نشان داده است.

جدول ۳ ضریب تطبیق برای هر یک از شاول‌ها

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

همانطور که مشاهده شد مقدار ضریب تطبیق برای هر یک از شاول‌های معدن مس سرچشمه کمتر از یک بدست آمد در ادامه به مدت زمان انتظار هر کدام از شاول در سایت بارگیری خود اندازه‌گیری شد و در نهایت بهره‌وری هر کدام به طور جداگانه محاسبه شده است.

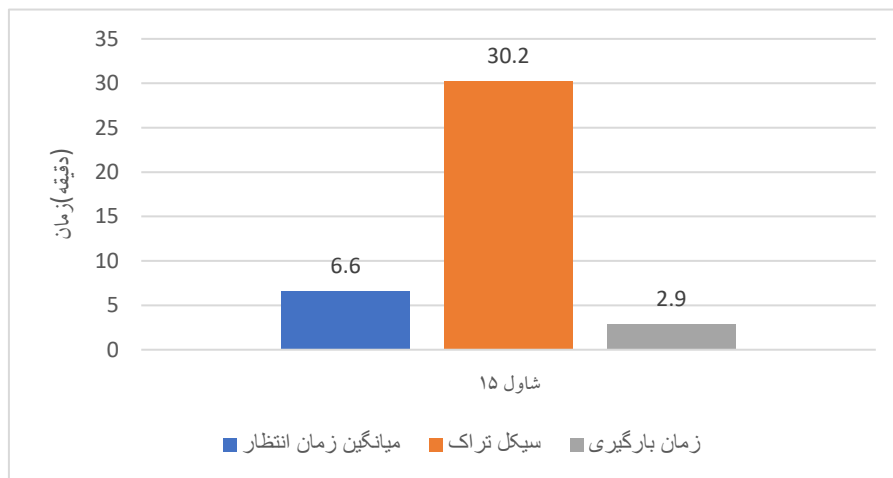


شکل ۲ نمودار ضریب تطبیق شاول‌های مورد بررسی معدن مس سرچشمه



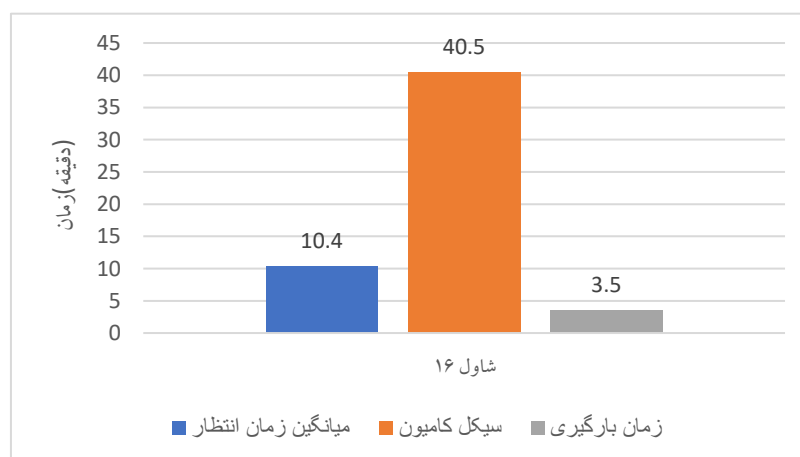
شکل ۲ مقدار ضریب تطبیقه‌ر یک از شاول‌ها را روی نمودار نشان داده است که همه شاول‌ها مقدار ضریب تطبیق کمتر از یک می‌باشد.

شاول ۱۵ که از نوع TZ است در هر شیفت ۵ کامیون ۱۳۶ تنی به آن اختصاص داده می‌شود. فاصله این شاول تا سنگ شکن اولیه ۳۱۰۰ متر و تا دامپ باطله ۴۴۰۰ متر فاصله دارد. شاول ۱۵ در جنوب غربی معدن قرار داشت. مقدار ضریب تطبیق محاسبه شده برای این شاول مقدار ۰/۵۱ را به خود اختصاص داده است. و بدین معنی است که ۴۹٪ درصد وقت خود در طول دو شیفت را صرف انتظار برای رسیدن کامیون کرده است.



شکل ۳ نمودار اطلاعات کلی مربوط به شاول ۱۵ معدن مس سرچشمه

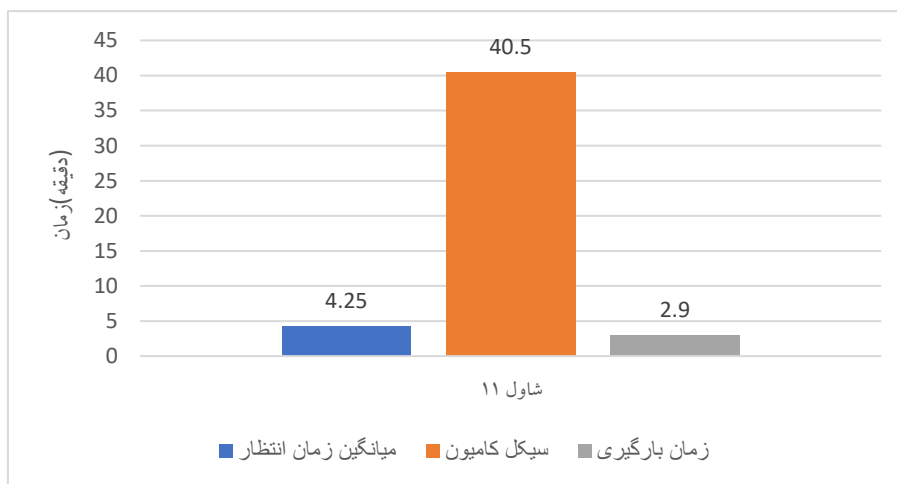
شکل ۳ نمودار کلی شاول ۱۵ را نشان داده است. اگر ضریب تطبیق کمتر از یک باشد شاول مورد نظر باید منتظر کامیون بماند. زیرا ضریب تطبیق به معنی نرخ رسیدت کامیون به نرخ سرویس دهی شاول یا لودر است. هنگامی که این نسبت کمتر از یک باشد بدین معنی است که نرخ سرویس دهی لودر یا شاول بیشتر از نرخ رسیدن کامیون است.



شکل ۴ نمودار اطلاعات کلی مربوط به شاول ۱۶ معدن مس سرچشمه

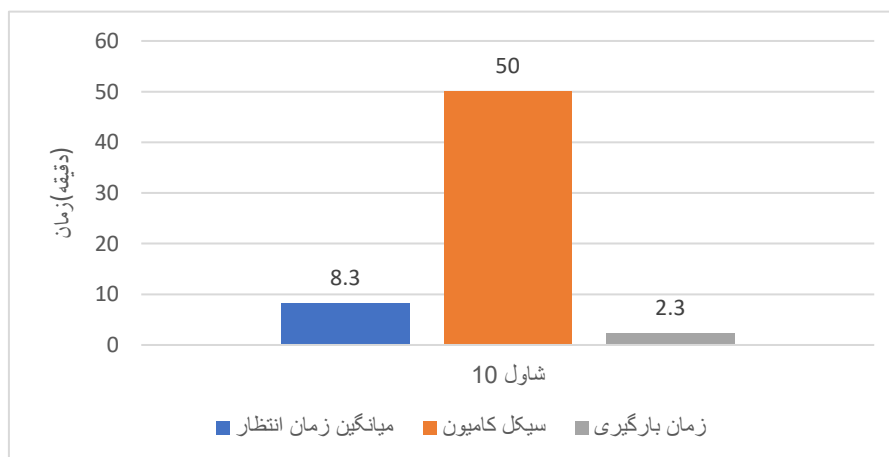


همانطور که شکل ۴ نشان داد میانگین زمان انتظار برای شاول ۱۶ معدن مس سرچشمه ۱۰.۴ دقیقه است. و این زمان به دلیل مقدار ضریب تطبیق که کمتر از یک است ثبت شده است. میانگین زمان یک سیکل کامل کامیون‌های شاول ۱۶ برابر ۴۰.۵ دقیقه است. در نمودارها منظور از اطلاعات کلی این است که برای محاسبه، میانگین زمان انتظار و میانگین زمان بارگیری و میانگین سیکل کامیون‌ها هم برای باطله و هم برای ماده معدنی در نظر گرفته شده است تا دید کلی نسبت به ناوگان بدست آید.

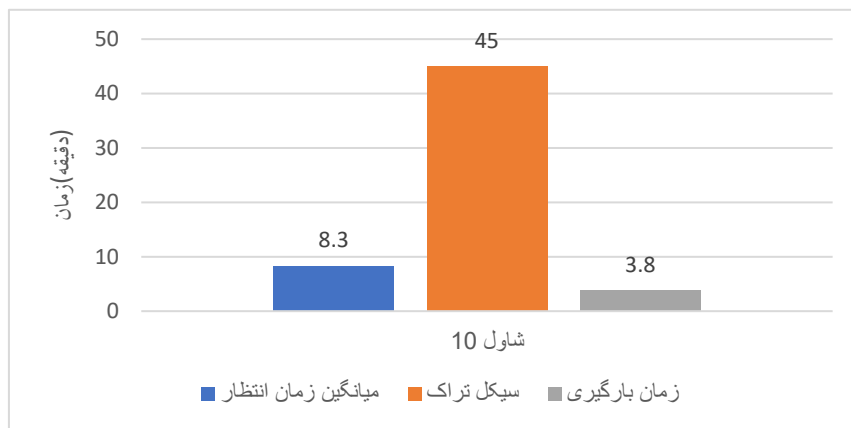


شکل ۵ نمودار اطلاعات کلی مربوط به شاول ۱۱ معدن مس سرچشمه

همانطور شکل ۵ نشان داد میانگین سیکل کامل هم برای حمل مواد معدنی و هم برای باطله در حالت کلی کامیون‌های شاول ۱۱ برابر ۴۰.۵ دقیقه است. به طور متوسط هر کدام از کامیون‌های ۱۳۶ تنی تقریباً در هر ساعت یک سیکل باربری و بارگیری انجام داده‌اند

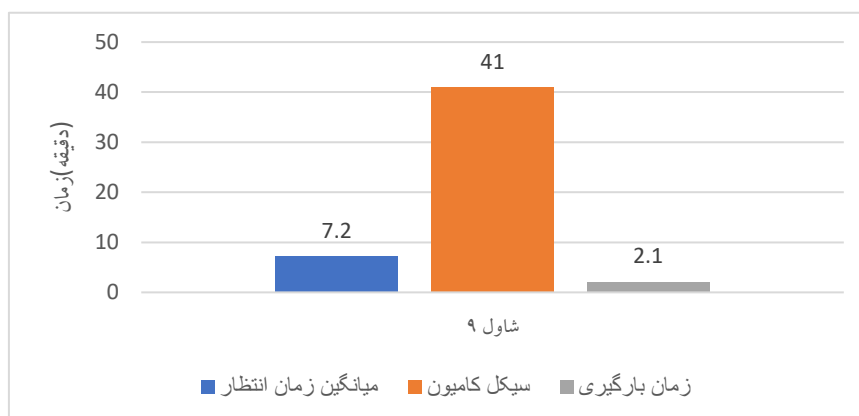


شکل ۶ نمودار اطلاعات کلی مربوط به شاول ۱۰ برای کامیون‌های ۱۳۶ تنی معدن مس سرچشمه

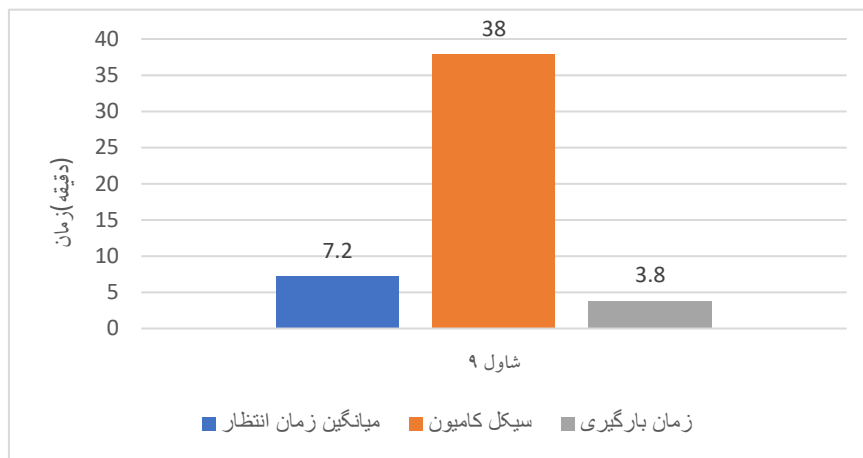


شکل ۷ نمودار اطلاعات کلی مربوط به شاول ۱۰ برای کامیون های ۲۴۰ تنی معدن مس سرچشمه

شکل ۷ و ۸ نمودار اطلاعات مربوط به شاول ۱۰ برای کامیون ۱۳۶ تنی و ۲۴۰ تنی نشان داده‌اند. مقدار ضریب تطبیق برای شاول ۱۰ معدن مس سرچشمه که یکی از بزرگترین شاول این معدن حساب می‌شود برابر با ۰/۳۹ است. شاول شماره ۱۰ این معدن ۶۱٪ از وقت خود در طول دو شیفت صرف انتظار برای رسیدن کامیون‌ها کرده است. با در نظر گرفتن زمان ایستادن در صف سنگ شکن، زمان تاخیر برای تخلیه، زمان تخلیه سیکل کامل بارگیری و باربری کامیون‌های ۱۳۶ تنی و ۲۴۰ تنی از این شاول برابر با ۵۰ و ۴۵ دقیقه می‌باشد.

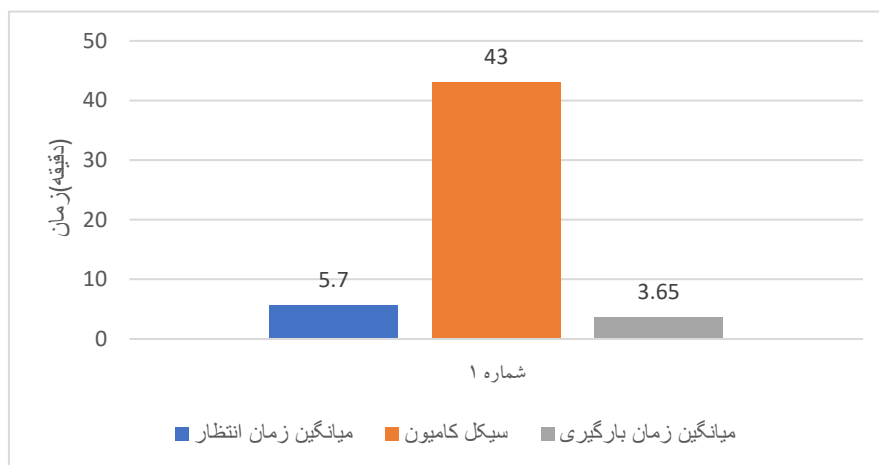


شکل ۸ نمودار اطلاعات کلی شاول ۹ برای کامیون های ۱۳۶ تنی هنگام بارگیری مواد معدنی



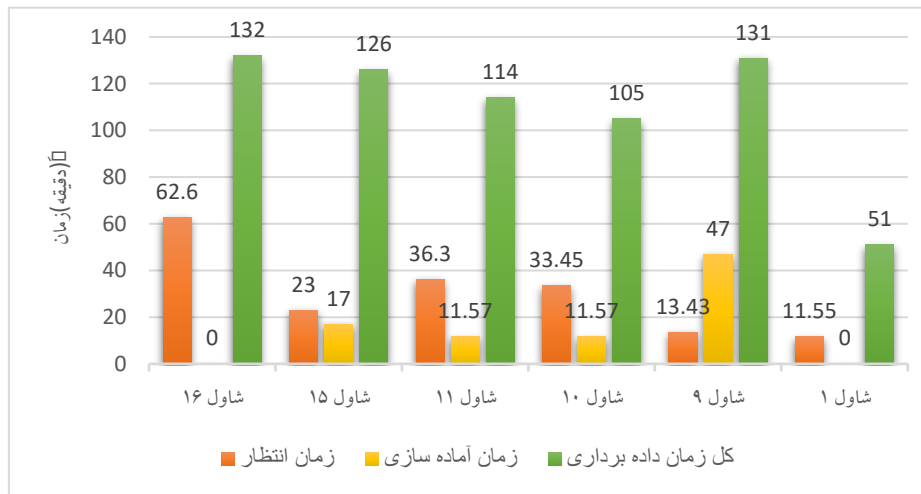
شکل ۹ نمودار اطلاعات کلی شاول ۹ برای کامیون های ۲۴۰ تنی هنگام بارگیری مواد معدنی

شکل ۸ و ۹ نمودار اطلاعات مربوط به کامیون‌های ۱۳۶ تنی و ۲۴۰ تنی که از شاول شماره ۹ بارگیری کرده‌اند را نشان داده‌اند که با توجه به اطلاعات جمع آوری شده زمان سیکل کامیون‌های ۲۴۰ تنی کمتر از ۱۳۶ تنی است. شاول شماره ۹ در جبهه کار خود فقط مواد معدنی در اختیار داشته است. مقدار ضریب تطبیق برای شاول شماره ۹ برابر ۰/۴۲ است. شاول ۹ هم مانند دیگر شاول‌ها ۵۸٪ درصد زمان خود در طول دو شیفت صرف رسیدن کامیون برای بارگیری کرده است.



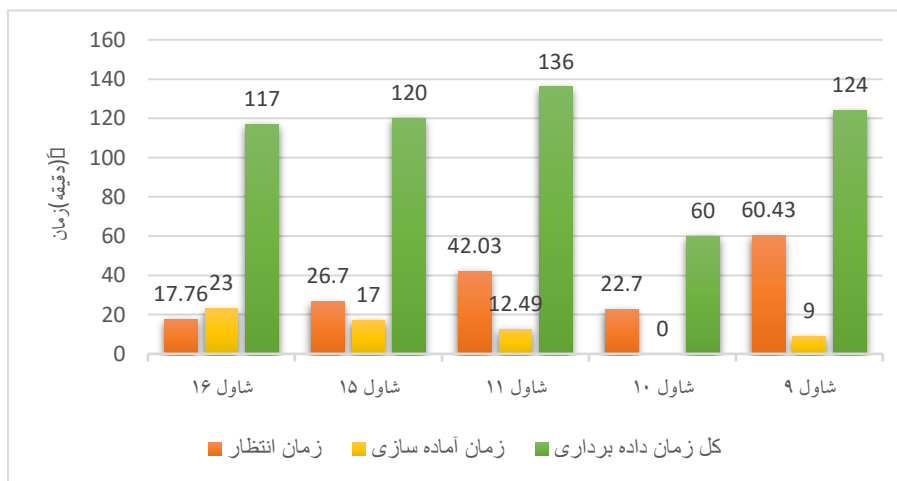
شکل ۱۰ نمودار کلی مربوط به شاول شماره ۱ معدن مس سرچشمه

شاول شماره ۱ واقع در شمال معدن مس سرچشمه در جبهه کار خود مواد باطله در اختیار داشته است و ضریب تطبیق ایت شاول برابر ۰/۴۹ است. فاصله این شاول تا دامپ باطله ۳۲، ۳۹۰۰ متر بوده است. جبهه کار شاول شماره یک از دانه بندی مناسبی برخوردار نبوده و برای باگیری کامیون‌ها تعداد سیکل‌ها به ۸ یا ۹ سیکل می‌رسید. سایز دانه بندی مواد برای شاول شماره یک مناسب نبوده و شاول به سختی بارگیری را انجام داده است.



شکل ۱۱ نمودار زمان انتظار شاول‌ها در شیفت اول

شکل ۱۱ 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. در اینجا منظور از زمان آماده سازی، زمانی که اپراتور شاول فاصله خود تا جبهه کار را تنظیم می‌کند برای بارگیری بهتر یا زمانی که صرف جابه جایی می‌کند هنگامی که جبهه کار از به طله به مواد معدنی تغییر می‌کند.



شکل ۱۲ نمودار زمان انتظار شاول‌ها در شیفت دوم

شکل ۱۲ نشان دهنده زمان انتظار شاول‌ها نسبت به مدت زمان داده برداری است. شاول ۹ نسبت به دیگر شاول‌ها بیشترین زمان انتظار را در شیفت دوم به خود اختصاص داد.

باتوجه به داده‌های برداشت شده در دو شیفت اول و دوم بهره‌وری هر یک از شاول‌ها در جدول ۴ حساب شده است. مقدار زمان کل در قابلیت دسترسی ناوگان که مقدار ۰/۸۵ ضرب شده است تا زمان در دسترس هر شاول بدست آید و زمان انتظار زمانی که شاول مشغول بارگیری نبوده است. شاول ۱ با توجه به یک شیفت محاسبه شده است همانطور که گفته شد در شیفت دوم برنامه کاری نداشته است.



جدول ۴ بهره‌وری شاول‌های معدن مس سرچشمه

شماره شاول	زمان کل (دقیقه)	زمان انتظار (دقیقه)	بهره‌وری
۱۵	۲۴۶	۸۷.۷	۰/۵۹
۱۶	۲۴۹	۱۰۳.۳۶	۰/۵۱
۱۱	۲۵۰	۱۰۲.۳۹	۰/۵۱
۱۰	۱۶۵	۶۷.۷۲	۰/۵۱
۹	۲۵۵	۱۲۹.۸۶	۰/۴
۱	۵۱	۱۱.۵۵	۰/۷۳

$$\text{بهره‌وری} = \frac{\text{زمان تاخیر} - \text{زمان خرابی} - \text{زمان کل}}{\text{زمان خرابی} - \text{زمان کل}} \quad (۹)$$

بهره‌وری هر شاول از رابطه ۹ محاسبه شد.

صنعت معدنکاری ترجیح بر این است که کامیون منتظر شاول باشد و با توجه به مفهوم ضریب تطبیق و مشاهدات می‌توان ناوگان حمل‌ونقل معدن مس سرچشمه را اینگونه تحلیل کرد که وجود تنها یک سنگ شکن اولیه در معدن باعث طولانی شدن زمان انتظار کامیون‌ها در صف تخلیه شده است؛ زیرا در صف تخلیه علاوه بر کامیون‌های معدن مس سرچشمه، کامیون‌های پیمانکاران هم مشاهده شده است. علاوه بر این زمان‌ها، زمان تأخیر در تخلیه را هم باید در نظر گرفت که برای هر کامیون متفاوت است زیرا ظرفیت‌های مختلفی در ناوگان مشغول کار هستند. زمان انتظار زیاد شاول‌ها برای رسیدن کامیون به سایت بارگیری و با توجه به مقدار ضریب تطبیق برای این معدن مناسب نبودن تعداد کامیون در ناوگان حمل‌ونقل می‌توان نتیجه گرفت. و همانطور هم انتظار می‌رود بهره‌وری شاول‌ها به طور میانگین ۵۴٪ است که بدین معنی است که شاول‌ها تنها نیمی از شیفت کاری خود مشغول تولید هستند و کارایی پایینی در شیفت کاری خود هستند.

۳-۱ تحلیل ناوگان حمل‌ونقل معدن سرچشمه در دو شیفت اول و دوم

در مورد زمان سیکل کامیون‌ها در شیفت اول و دوم عدد‌ها به صورت میانگین هستند و برای مقایسه دو شیفت به کار برده شده‌اند. زمان‌ها برای شاول ۹ در شیفت اول بدین صورت است که زمان بارگیری برای هر دو کامیون به طور میانگین، برای کامیون ۱۳۶ تنی برابر ۱۴۵ ثانیه و برای کامیون ۲۴۰ تنی برابر ۲۳۸ ثانیه، مانور و کامیون‌ها برای بارگیری ۴۳ ثانیه و زمان یک سیکل شاول برابر با ۴۲ ثانیه بوده است. زمان انتظار کامیون‌ها در سایت بارگیری شاول ۹ برابر ۵.۵ دقیقه ثبت شد. اما در شیفت دوم زمان کمی متفاوت است نسبت به شیفت اول، در شیفت دوم زمان بارگیری به طور میانگین، برای کامیون ۱۳۶ تنی برابر ۱۱۲ ثانیه و برای کامیون ۲۴۰ تنی ۲۱۹ ثانیه است. زمان انتظار برای کامیون‌ها در شیفت دوم به طور میانگین ۳.۷ دقیقه ثبت شد. زمان یک سیکل شاول برابر ۳۷ ثانیه می‌باشد. از مقایسه دو شیفت برای شاول ۹ می‌توان دریافت که سیکل کامیون (زمان مانور، بارگیری) نسبت به شیفت اول کاهش پیدا کرده است و در مورد زمان انتظار کامیون نیز نسبت به شیفت اول کاهش پیدا کرده است. برای شاول ۱۰ معدن مس سرچشمه در شیفت اول زمان بارگیری کامیون ۱۳۶ تنی برابر ۱۳۹ ثانیه و برای کامیون ۲۴۰ تنی ۲۳۰ ثانیه و همچنین زمان مانور کامیون‌ها ۵۳ ثانیه ثبت شد. در



مورد زمان انتظار کامیون در شیفت اول، این زمان به طور میانگین برابر ۶.۲ دقیقه و زمان انتظار شاول به طور میانگین ۸.۳ دقیقه ثبت شده است. شیفت دوم این شاول زمان بارگیری برای کامیون ۱۳۶ تنی برابر ۱۶۶ ثانیه و برای کامیون ۲۴۰ تنی برابر ۲۲۸ ثانیه و مدت زمان مانور کامیون ۵۰ ثانیه ثبت شد. در مورد زمان انتظار کامیون و شاول در شیفت دوم می‌توان گفت به ترتیب این زمان‌ها برابر ۳.۵ دقیقه و ۱۱.۳ دقیقه می‌باشد. در حالت کلی زمان مانور، بارگیری کامیون ۲۴۰ تنی و زمان انتظار کامیون در شیفت دوم نسبت به شیفت اول کاهش پیدا کرده است اما زمان بارگیری کامیون ۱۳۶ تنی و زمان انتظار شاول در شیفت دوم افزایش پیدا کرده است. شاول ۱۶ نیز در دو شیفت اول و دوم تفاوت‌هایی نیز وجود دارد. بدین صورت که زمان بارگیری در شیفت اول ۲۰۵ ثانیه و در شیفت دوم ۲۱۵ ثانیه که در این مورد ۱۰ ثانیه اختلاف دارند و همچنین زمان یک سیکل ۳۸ ثانیه و در شیفت دوم ۳۹ ثانیه که زیاد تفاوتی با یکدیگر نداشته‌اند. زمان مانور کامیون‌ها در شیفت اول ۳۵ ثانیه و در شیفت دوم ۴۵ ثانیه که باز اختلاف این دو شیفت در مانور کامیون ۱۰ ثانیه است اما در مورد زمان انتظار کامیون در شیفت به طور میانگین برابر ۴ دقیقه و زمان انتظار شاول برابر ۱۲ دقیقه ثبت شد که در شیفت دوم به ترتیب این زمان‌ها برابر ۶.۲ دقیقه و ۴ دقیقه می‌باشد که در حالت کلی برای این شاول می‌توان گفت زمان بارگیری، مانور و زمان انتظار کامیون روند افزایشی و در مورد زمان انتظار شاول روند کاهشی داشته است. شاول ۱۵ این معدن زمان انتظار شاول در شیفت اول ۶.۴ دقیقه و در شیفت دوم برابر ۶.۷ دقیقه همچنین زمان مانور به ترتیب ۴۶ ثانیه و ۳۶ ثانیه ثبت شد. زمان انتظار کامیون‌ها در سایت بارگیری شاول ۱۵ به ترتیب در شیفت اول و دوم ۶ دقیقه و ۳ دقیقه می‌باشد. در مورد زمان بارگیری کامیون‌ها به ترتیب شیفت اول و دوم می‌توان گفت ۱۸۸ ثانیه و ۱۶۰ ثانیه ثبت شد. در حالت کلی زمان انتظار شاول برای شاول ۱۶ یکسان بود و دو شیفت با یکدیگر تقریباً اختلافی نداشته اما در مورد زمان مانور، انتظار کامیون و زمان بارگیری شیفت دوم نسبت به شیفت اول کاهش پیدا کرد. برای مقایسه دو شیفت برای شاول ۱۱ می‌توان گفت زمان انتظار شاول در دو شیفت به ترتیب ۴.۵ دقیقه و ۸ دقیقه و برای زمان مانور برابر ۳۱ و ۴۷ ثانیه همچنین برای انتظار کامیون در سایت بارگیری شاول ۱۱، ۵.۷ و ۵ دقیقه ثبت شد که در حالت کلی برای این شاول می‌توان گفت زمان انتظار شاول در شیفت دوم افزایش داشته است. این مقایسه نشان داد که برای شاول‌های ۱۵ و ۱۱ و ۹ شیفت دوم عملکرد بهتری نسبت به شیفت اول داشته‌اند.

۴- نتیجه گیری

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 میانگین این زمان انتظار برابر ۴۰۴ ثانیه است. 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 و میانگین بهره‌وری ناوگان این معدن ۵۴٪ است که تنها در نیمی از وقت خود را صرف تولید کرده‌اند. مقایسه دو شیفت کاری ناوگان ناهمگن معدن مس سرچشمه نشان داد که برای شاول‌های ۱۵ و ۱۱ و ۹ شیفت دوم عملکرد بهتری نسبت به شیفت اول داشته‌اند.

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



۵- منابع

- [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]Walker, S.C., *Mine winding and transport*, Elsevier, 2012.
- [7]Chaowasakoo, P., Seppälä, H., Koivo, H., and Zhou, Q., "Digitalization of mine operations: Scenarios to benefit in real-time truck dispatching", *International Journal of Mining Science and Technology*, Vol. 27, pp. 229-236, 2017.
- [8]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.
- [9]Dzakpata, I., Knights, P., Kizil, M.S., Nehring, M., and Aminossadati, S.M., "Truck and shovel versus in-pit conveyor systems: a comparison of the valuable operating time", Vol., 2016.
- [10]Darling, P., *SME mining engineering handbook*, SME, 2011.
- [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.



- [12]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.
- [13]Zeng, W., “A simulation model for truck-shovel operation”, Vol., 2018.
- [14]Dabbagh, A., and Bagherpour, R., “Development of a match factor and comparison of its applicability with ant-colony algorithm in a heterogeneous transportation fleet in an open-pit mine”, *Journal of Mining Science*, Vol. 55, pp. 45-56, 2019.
- [15]Dabbagh, A., and Bagherpour, R., “Investigating the Applicability of Imperialist Competitive Algorithm in the Problem of Allocating Truck to the Open Pit Mine”, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, Vol. 34, 2019.
- [16]Ozdemir, B., and Kumral, M., “Simulation-based optimization of truck-shovel material handling systems in multi-pit surface mines”, *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 95, pp. 36-48, 2019.
- [17]Cheng, J.E., “Match factor determination of excavator-truck combination in surface mining: Case study of merit pila coalfield, Sarawak”, *Geological Behavior*, Vol. 3, pp. 28-29, 2019.
- [18]Indrajaya, F., Taruna, Y., Barus, J.P., Hutajulu, Y.Y., Fidayanti, N., and Adnyano, A.I.A., “Fleet Management Simulation Using Queuing Theory to Achieve Coal Production Targets”, *International Journal*, Vol. 8, 2020.
- [19]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.
- [20]Burt, C.N., “An optimisation approach to materials handling in surface mines”, Vol., 2008.