



شبیه سازی سیستم کامیون-شاول با نرم افزار S.H.S

سهیل مشرفی^۱، محمد باقر اسلامی^۲

۱-عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه

۲-عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه

E-mail: S_moshrefii@yahoo.com

چکیده

هزینه بارگیری و باربری در معادن سطحی درصد قابل توجهی از هزینه های استخراج را به خود اختصاص می دهد. یکی از راههایی که می توان در هزینه های این مرحله صرف جویی قابل ملاحظه ای نمود اختصاص مناسب تعداد و نوع کامیونها به مسیرهای باربری می باشد. با توجه به اینکه در معادن پارامترهای زیادی در اختصاص ماشین آلات تاثیر دارد از جمله وجود سینه کارهای مختلف، سنگ شکنها، باربرها و بارکننده ها با ظرفیتهای متفاوت و... استفاده از روشهای سنتی و حتی روشهای تحقیق در عملیات نمی تواند پاسخگوی ما در این معادن باشد؛ زیرا در روش سنتی اکثر پارامترهای فوق در محاسبات وارد نمی شود، همچنین در روشهای تحقیق در عملیات نیز اشکالاتی نظیر عدم در نظر گرفتن محدودیت تولید، عدد صحیح نبودن جواب، پیچیده بودن مدلها با توجه به تعدد پارامترها وجود دارد. بنابراین این سیستمهای بارگیری و حمل نیاز به یک مدل کاری و انعطاف پذیر دارد تا علاوه بر این که بتواند کلیه پارامترها را در نظر بگیرد، احتیاج به محاسبات پیچیده و تجزیه و تحلیل مفصل نداشته باشد؛ بهترین روش برای حل این مسائل استفاده از روش شبیه سازی می باشد.

برای شبیه سازی این معادن برنامه شبیه ساز S.H.S تهیه شده که در ابتدا یکسری نمونه گیری از زمانهای رفت و برگشت در هر مسیر، تخلیه، بارگیری و... انجام می شود. سپس بر اساس مشخصات آماری جامعه داده ها، شبیه سازی انجام می گیرد. در این روش برنامه با دریافت تعداد و نوع کامیونها، بارکننده ها، زمانهای رفت، برگشت، تخلیه و بارگیری، ظرفیت سنگ شکنها و... شبیه سازی را برای کلیه حالتی که می توان کامیونها را بین مسیرهای بارگیری تا سنگ شکن یا انبار مواد توزیع کرد، اجرا نموده و گزارش کاملی از هزینه های عملیاتی، مقدار تولید و... را برای شبیه سازیهای انجام شده ارائه می دهد؛ همچنین مناسبترین توزیع با کمترین هزینه را با توجه به تولید مورد نیاز معدن پیشنهاد می نماید.

این برنامه در معدن آهک سیمان صوفیان اجرا و نتیجه با روش سنتی مقایسه شد. نتیجه این بررسی افزایش تولید ۹ درصدی و کاهش هزینه ۱۷ درصدی را به همراه داشته است.

واژه های کلیدی؛ شبیه سازی، حمل و نقل، معادن روباز، کامیون، شاول،



۱- مقدمه

در اکثر معادن سطحی برای انتخاب تعداد و نوع کامیون مناسب، استفاده از مدل‌های عمومی تحقیق در عملیات در راستای بهینه‌سازی مطلق عملیات حمل و نقل می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. به سبب پیچیدگی مدلسازی با وجود سینه کارهای مختلف، بارکننده‌ها، باربرها و سنگ شکنها با ظرفیتهای متفاوت از یک سو و مقبولیت عملکرد سیستم در نقاط نزدیک به بهینه از سوی دیگر می‌توان به الگوریتم شبیه‌سازی روی آورد. تا علاوه بر آنکه تمام پارامترهای سیستم حمل و نقل مانند: ظرفیت سنگ شکنها، نوع باربرها و بارکننده‌ها و سایر مشخصات را در نظر بگیرد، احتیاج به محاسبات پیچیده و تجزیه و تحلیل مفصل نداشته باشد.

شرایطی را که برای شبیه‌سازی سیستم حمل و نقل در نظر گرفته شده است به صورت زیر می‌باشد:

- ۱- بارکننده‌ها و سنگ شکنها در یک زمان فقط یک کامیون را سرویس می‌دهند.
 - ۲- راه برای عبور دو کامیون در یک زمان گنجایش دارد.
 - ۳- در مدت شبیه‌سازی کار بدون توقف انجام می‌شود.
- برای تحقق این اهداف برنامه‌ای به نام S.H.S تهیه شده است.

۲- برنامه SHS (SIMULATION HULAGE SYSTEM)

برنامه SHS به زبان C++ و با به کارگیری روش شبیه‌سازی مونت کارلو تهیه شده است. برنامه برای دو حالت طراحی گردیده است. در حالت اول با نظر کاربر کامیونها به مسیرهای مختلف اختصاص می‌یابد. شبیه‌سازی بعد از وارد کردن اطلاعات مورد نیاز برنامه انجام و عملکرد آن، با توجه به شرایط اعلام شده از طرف کاربر، گزارش داده می‌شود. کامیونها، شاولها، سنگ شکنها و همچنین هزینه حمل هر تن ماده جابه‌جا شده را محاسبه و در اختیار کاربر قرار می‌دهد. این حالت شبیه‌سازی "سیستم خاص" ترابری نامیده می‌شود. بدین دلیل که برنامه در شرایط خاص که مد نظر کاربر است شبیه‌سازی را انجام می‌دهد.

در حالت دوم کاربر تنها تعداد و نوع کامیونها ی آماده به کار معدن و همچنین مشخصات مورد نیاز از قبیل زمان بارگیری، رفت، تخلیه، برگشت و سایر مشخصات سیستم را برای هر نوع کامیون و سنگ شکن تعریف می‌کند. برنامه ابتدا تعداد حالاتی را که کامیونها می‌توانند بین مسیرهای حمل توزیع شوند، به دست آورده و شبیه‌سازی را برای هر حالت اجرا می‌نماید. در پایان، برنامه با توجه به حداقل تولید مورد نیاز معدن، توزیعی را که دارای کمترین هزینه می‌باشد، پیشنهاد می‌نماید. برنامه یک فایل اطلاعاتی نیز برای کلیه حالت‌هایی که شبیه‌سازی اجرا شده است تهیه کرده که وضعیت تولید و هزینه‌ها را برای هر توزیع می‌توان مشاهده نمود. این حالت شبیه‌سازی "انتخاب مناسبترین توزیع سیستم ترابری" نامیده می‌شود. زیرا کلیه حالات



ممکن را برای شرایط مورد نظر پیش بینی نموده و مناسبترین آنها را گزارش می نماید. لازم به ذکر است که برنامه توانایی ذخیره و بازیابی فایل داده ها را داشته، دارای منوی راهنما و اخطار اشتباه نیز می باشد و همچنین هنگام اجرای برنامه موقعیت تمامی ماشین آلات روی صفحه نمایش قابل مشاهده است. (شکل-۱-)

۳- الگوریتم برنامه

الگوریتم برنامه از دو بخش تشکیل شده بخش اول برای تولید حالات مختلف بر اساس اطلاعات ورودی است و در بخش دوم حالات ایجاد شده شبیه سازی می گردد.

برای تولید حالات ممکن توزیع کامیونها از روش جایگشتها استفاده شده است. به علت اینکه این قسمت دارای مباحث گسترده ریاضی و برنامه نویسی می باشد از بحث در این مورد صرف نظر می گردد.

برای شبیه سازی، برنامه ابتدا صف مقابل بارکننده ها را کنترل می کند. اگر کامیونی در صف نباشد پس بارکننده بیکار است و برای آن زمان انتظار محاسبه می شود. حال اگر ماشینی وارد صف بارکننده شود، اگر صف خالی باشد بارگیری شروع و در غیر این صورت کامیون در انتهای صف قرار می گیرد و زمان انتظار برای آن محاسبه می شود تا اینکه نوبت به ماشین مورد نظر برسد.

اگر ماشین در حال بارگیری باشد یک عدد تصادفی بر حسب مقدار متوسط و انحراف معیار زمان بارگیری محاسبه و تا وقتی که زمان واقعی به زمان بارگیری نرسد کامیون در حال بارگیری خواهد ماند و سپس به مرحله رفت وارد می شود.

پس از بارگیری، یک عدد تصادفی با توجه به مقدار متوسط و انحراف معیار زمان رفت برای کامیون مورد نظر منظور می شود که تا پایان مدت این زمان، کامیون در حال رفت خواهد بود. در مرحله تخلیه و برگشت نیز یک عدد تصادفی مانند مراحل قبل محاسبه می گردد.

تمامی مراحل فوق در هر واحد زمانی ۱۰ ثانیه ای برای کلیه کامیونها انجام می شود. این کار تا پایان مدت شبیه سازی ادامه پیدا می کند.

۴- ورودی برنامه SHS

صفحه ورود اطلاعات را می توان در شکل-۲ مشاهده نمود که در آن موارد زیر در نظر گرفته شده است:



۴-۱- مشخصات کامیونها

برنامه قادر است ۱۸ کامیون مختلف با ظرفیت متوسط بار بین ۱۰-۱۲۰ تن را در نظر بگیرد. اطلاعات هر یک از کامیونها شامل مقدار ظرفیت متوسط، انحراف معیار، شماره محل بارگیری و نام محل تخلیه اعم از سنگ شکن و انبار مواد است.

۴-۲- مشخصات مسیرهای حمل

در این قسمت باید متوسط و انحراف معیار زمان رفت و برگشت هر نوع کامیون بر حسب دقیقه و ثانیه در هر یک از مسیرها را مشخص نمود. لازم به ذکر است که توزیع نرمال مورد نظر می باشد.

۴-۳- مشخصات بارکننده ها

نوع بارکننده برای هر سینه کار و همچنین متوسط زمان بارگیری و انحراف معیار آن برای هر نوع کامیون مشخص می شود. در این برنامه حداکثر چهار سینه کار فعال در یک زمان را می توان در نظر گرفت.

۴-۴- زمان تخلیه

زمان تخلیه هر نوع کامیون و انحراف معیار آن بر حسب دقیقه و ثانیه وارد می شود.

۴-۵- مشخصات سنگ شکنها

اطلاعات مربوط به سنگ شکنها از قبیل متوسط ظرفیت و انحراف معیار آن بر حسب ساعت بر تن همچنین گنجایش مخزن سنگ شکن و انحراف معیار آن بر حسب تن دریافت می شود. برنامه قادر به دریافت اطلاعات مربوط به سه سنگ شکن می باشد.

۴-۶- انبار مواد

در برنامه سه انبار مواد می تواند تعریف شود. فرق انبار مواد و سنگ شکن در این است که در محل سنگر مواد بیش از یک کامیون می تواند عمل تخلیه را انجام دهد. ظرفیت انبار مواد مشخص می گردد و بدین صورت برای هر یک از انبارها ظرفیت و انحراف معیار آن بر حسب تن در ساعت تعریف می شود.



۴-۷- حداقل تولید مورد نیاز معدن

برنامه برای انتخاب توزیع مناسب، حداقل تولید مورد نیاز معدن در هر مسیر را دریافت می نماید.

۴-۸- هزینه ها

برای محاسبه هزینه کل عملیات و هزینه هر تن ماده جابه جا شده، اطلاعات مربوط به هزینه های ساعتی هر کدام از تجهیزات به برنامه داده می شود.

۴-۹- مدت زمان شبیه سازی

مدت زمان شبیه سازی را می توان به طور دلخواه تنظیم کرد. مثلاً شبیه سازی را برای یک شیفت یا یک سال اجرا نمود

۴-۱۰- تعداد دفعات اجرا

در این قسمت کاربر تعداد دفعاتی را که می خواهد هر شبیه سازی انجام شود وارد می کند. مسلماً هر چه تعداد دفعات شبیه سازی برای هر حالت بیشتر باشد قابلیت اعتماد به جوابها نیز بیشتر خواهد بود. زیرا برنامه متوسط مقادیر کل اجراها را در نظر می گیرد.

۵- صفحه نمایش

در این مرحله برنامه موقعیت هر کامیون را در هر لحظه نمایش میدهد. به عنوان مثال در شکل-۱- کامیون شماره ۳ در مرحله بارگیری کامیونهای ۴ و ۵ در حال انتظار، کامیون شماره ۲ در مسیر رفت کامیون شماره ۱ در حال تخلیه در سنگ شکن ۱ است.

۶- خروجی برنامه

اگر برنامه را برای حالت اول یعنی شبیه سازی یک سیستم خاص در نظر گرفته باشیم برنامه پس از اجرای شبیه سازی گزارش کاملی از عملکرد سیستم از قبیل کارایی بارکننده ها، باربرها، سنگ شکنها و



همچنین، مقدار تولید، زمان تلف شده در هر مسیر و هزینه هر تن ماده جابه جا شده در اختیار کاربر قرار می دهد. خروجی برنامه در شکل ۳- آورده شده است.

اما اگر برنامه برای حالت دوم یعنی انتخاب مناسبترین سیستم توزیع ترابری در نظر گرفته شده باشد، برنامه توزیعی که دارای کمترین هزینه باشد و حداقل تولید معدن را نیز برآورده سازد را پیشنهاد و هزینه هر تن ماده جابه جا شده نیز اعلام می گردد. خروجی برنامه در شکل ۴- آورده شده است. در این مثال یک کامیون ۴۵ تنی در مسیر ۱- A و ۲- A و دو کامیون ۴۵ تنی در مسیر ۲- B پیشنهاد شده است.

۷- کاربردهای برنامه

از آنجا که در اکثر معادن سطحی تعدادی سینه کار به سنگ شکنها و یا انبار مواد مربوط می باشند که هر یک دارای مشخصات منحصر به فردی است، بنابراین این با روشهای معمول نمی توان عملکرد سیستم را بررسی نمود. با کمک برنامه SHS به راحتی می توان با اختصاص کامیونهای مختلف به مسیرهای متفاوت عملکرد سیستم را بررسی نمود. به کمک این برنامه علاوه بر آنکه می توان تعداد و نوع کامیونهای بهینه را انتخاب نمود می توان عملکرد سیستم بر اثر تغییر هر یک از پارامترها (مانند: زمان بارگیری، زمان رفت و برگشت، ظرفیت سنگ شکن و انبار مواد و ...) را بررسی کرد.

۸- استفاده از برنامه SHS در معدن آهک سیمان صوفیان

۸-۱- روش متداول تخصیص

شکل ۵- وضعیت کاری معدن آهک سیمان صوفیان و مسیرهای حمل آهک را در شرایط مورد بررسی نشان می دهد. در حال حاضر در این معدن برای هر شیفت کاری بنابر شرایط سینه کارها و سنگ شکنها، از نظر عیار و تناژ، تجهیزات معدن با روش سنتی بین مسیرها توزیع می شود. این اقدام در ابتدای هر شیفت صورت می گیرد. در روش سنتی برای محاسبه تعداد کامیونهای مورد نیاز هر مسیر از تلفیقی از دو رابطه (۱) و (۲) استفاده می شود.

$$N_t = TCT/TLT \quad (1)$$

N_t - حداقل تعداد کامیون به ازای هر بارکننده

TCT - زمان یک سیکل کاری کامیون بر حسب دقیقه

TLT - زمان بارگیری کامیون بر حسب دقیقه



زمان مفید کاری حداقل تولید

$$Nt = \frac{(\text{-----})}{(\text{-----})} \quad (2)$$

سیکل کاری کامیون ظرفیت کامیون

Nt - حداقل تعداد کامیون برای تولید مورد نظر

همان طور که ملاحظه می شود، در روش سنتی زمان انتظار کامیونها، هزینه های عملیاتی، نوع کامیونها و ظرفیت سنگ شکنها در نظر گرفته نمی شود. در شرایط مورد بررسی مدیریت معدن با توجه به تعداد کامیونهای آماده به کار معدن که مشخصات آنها در جدول ۱- آورده شده است و نتایج برآورد شده از روابط ۱ و ۲ تصمیم نهایی را برای تخصیص تجهیزات اتخاذ می نماید. جدول ۲- تصمیم نهایی مدیریت معدن را نشان می دهد.

۸-۲- روش شبیه سازی

برای یافتن توزیع مناسب بعد از ورود اطلاعات مورد نیاز برنامه بر اساس شرایط موجود برنامه پس از اجرای شبیه سازی برای توزیعهای ممکن که بالغ بر ۱۳۰۰ حالت می شود؛ بر اساس شرایط داده شده، توزیعی را که دارای کمترین هزینه و همچنین حداقل تولید معدن را برآورده می سازد پیشنهاد می دهد. نتیجه شبیه سازی در جدول ۳- آورده شده است.

۸-۳- مقایسه دو روش سنتی و شبیه سازی

برای مقایسه دو روش فوق توزیع انجام شده توسط مدیریت معدن و همچنین توزیع پیشنهادی برنامه برای یک نوبت کاری شبیه سازی شده که نتایج آن در جداول شماره ۴ و ۵ آورده شده است. مقایسه مقادیر فوق نشان می دهد که در شرایط شبیه سازی تولید ۹ درصد افزایش هزینه ها ۱۷ درصد نسبت به روش سنتی در هر شیفت کاهش یافته است؛ بدیهی است اگر ظرفیت معدن بالا باشد و تعداد وسایل بارگیری و باربری نیز افزایش یابد تفاوت در میزان هزینه های صرفه جویی شده با به کارگیری روش شبیه سازی بیشتر نمود می یابد.



۹- نتیجه گیری

مشاهده می شود در معادن سطحی به علت وجود باربرها، بارکننده ها و سنگ شکنها با ظرفیتهای مختلف، استفاده با روشهای متداول نمی توان معیار مناسبی را برای توزیع تجهیزات به دست آورد. زیرا در این روش پارامترهای مهم سیستم از قبیل ظرفیت سنگ شکنها، کامیونها و ... در نظر گرفته نمی شود. در نتیجه صفهای به وجود آمده در سیستم، افزایش هزینه های عملیاتی را به همراه دارد. حال آنکه با استفاده از برنامه SHS علاوه بر اینکه کلیه پارامترهای سیستم در نظر گرفته می شود، برنامه دارای خصوصیات زیر نیز می باشد:

- ۱- این برنامه شبیه سازی، قابلیت شبیه سازی هر سیستم شاول-کامیونی را دارد.
- ۲- برای به کارگیری برنامه نیاز به دانش برنامه نویسی نمی باشد؛ زیرا راه اندازی، اجرا و تصحیحات در آن بسیار ساده است.
- ۳- برنامه قادر است چندین نوع کامیون و بارکننده و سنگ شکن را در هر مسیر قبول نماید.
- ۴- برنامه کلیه پارامترها را به صورت متغیر دریافت نموده و بدین دلیل نیاز به تغییر متن برنامه، برای شرایط جدید را ندارد.

جدول ۱- تعداد و نوع کامیونهای آماده به کار معدن

نوع کامیون	۴۵ تنی	۳۵ تنی
تعداد	۴	۴



جدول ۲- توزیع نهایی کامیونها توسط مدیریت معدن

تعداد کامیون		مسیر
۳۵	۴۵	
۱۰	۲	A-۱
۲	۰	A-۲
۱	۲	B-۳

جدول ۳- توزیع پیشنهادی برنامه شبیه سازی

تعداد کامیون		مسیر
۳۵	۴۵	
۰	۲	A-۱
۱	۲	A-۲
۱	۰	B-۳



جدول ۴- عملکرد سیستم با روش متداول

مسیر	کارایی بارکننده	تولید	تعداد کامیون
A-۱	٪۳۰	۲۰۰۵	۳
A-۲	٪۲۱	۱۵۷۵	۲
B-۳	٪۱۸	۱۰۰۰	۳
		۴۵۸۰ تن	۷۸۰ ریال بر تن

جدول ۵- عملکرد سیستم با توزیع پیشنهادی کامپیوتر

مسیر	کارایی بارکننده	تولید	تعداد کامیون
A-۱	٪۲۰	۱۳۶۰	۲
A-۲	٪۳۱	۲۶۲۴	۳
B-۳	٪۱۸	۱۰۱۶	۱
		۵۰۰۰ تن	۶۵۰ ریال بر تن



کارایی کامیونها

Truck ۱	= ۰.۷۰
Truck ۲	= ۰.۷۱
Truck ۳	= ۰.۸۲
Truck ۴	= ۰.۸۲
Truck ۵	= ۰.۸۱
Truck ۶	= ۰.۸۲
Truck ۷	= ۰.۸۵

کارایی بارکننده‌ها

Loader ۱	= ۰.۲۰
Loader ۲	= ۰.۲۲
Loader ۳	= ۰.۲۱
Loader ۴	= ۰.۰۰

کارایی سنگ شکنها

Crusher ۱	= ۰.۹۸
Crusher ۲	= ۰.۹۸
Crusher ۳	= ۰.۰۰

بارچاپ‌ها شده - زمان انتظار - کارایی

۱-۸	= ۰.۲۱	۲:۵۵ h	۱۲۴۲ t
۲-۸	= ۰.۸۲	۲:۴۲ h	۲۱۱۳ t
۳-۸	= ۰.۸۵	۱:۲۲ h	۱۹۴۵ t

هزینه حمل
هر تنه، کل
۲۰۰۰۰۰.۰۰ ۳۴.۴۸

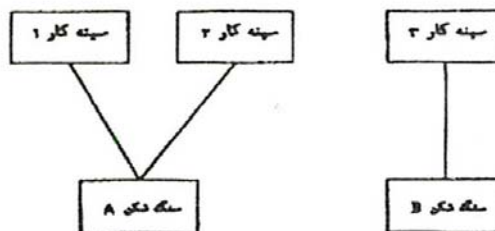
شکل ۳- نمونه‌ای از خروجی روش دمنی

Best Case is :

Line ۱ - A : ۴۵
Line ۲ - A : ۴۵
Line ۳ - B : ۴۵ ۴۵

Best cost : ۲۲.۴۱

شکل ۴- نمونه‌ای از روش اتوماتیک



شکل ۵- شماتیک وضعیت کاری معدن آهک