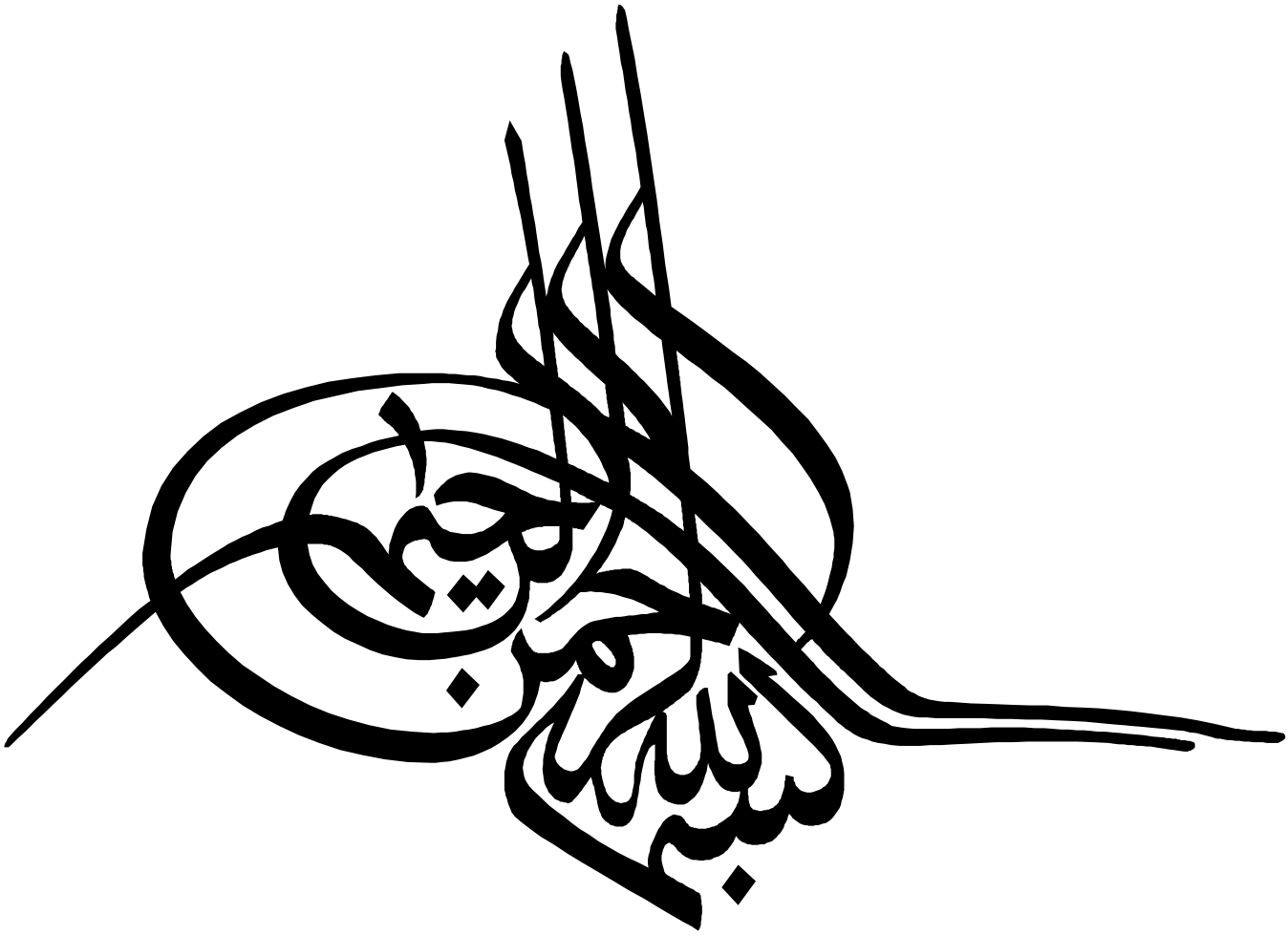
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تهران
دانشکده‌های فنی
دانشکده معدن

پایان‌نامه کارشناسی ارشد
رشته مهندسی معدن گرایش استخراج

تهیه نرم افزار انتخاب سیستم بارگیری ـ باربری در معادن روباز

نگارش:
آرزو اکبری افخمی

اساتید راهنما و مشاور:
مهدی یاوری
علی‌اصغر خدایاری

مهر ۱۳۸۷

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

تشکر و قدردانی

تشکر فراوان از استاد ارجمندم جناب آقای مهندس یاوری که با صبر و حوصله در طول تحصیل راهنمایی‌های ارزنده‌ای به من عطا نموده‌اند و اخلاق و رفتارشان نیز برایم آموزنده بود، همچنین از حمایت های بی‌دریغ دکتر خدایاری در طول انجام پایان‌نامه تشکر بسیار دارم.

لازم است از خانم مهندس هاشمی و آقایان مهندس میرعابدی و مهندس بنکدار به دلیل مساعدتهایشان در انجام پروژه نیز تشکر نمایم.

چکیده

در این پایان‌نامه، برنامه کاربردی به منظور انتخاب سیستم بارگیری _ باربری توسعه داده شده است. هدف از طراحی این نرم‌افزار، انتخاب تجهیزات بارگیری و باربری (لودر، شاول و کامیون) با معیار کمینه‌سازی مجموع هزینه واحد سیستم به‌ازای هر تن در مرحله مطالعات پیش امکان‌سنجی و امکان‌سنجی معادن روباز می‌باشد. برای انتخاب فنی ماشین‌آلات از روش‌های کلاسیک براساس ظرفیت عملیاتی سالانه معدن و روابط منطقی حاکم بین پارامترهای دخیل در ظرفیت تولید تجهیزات و سازگاری تجهیزات بارگیری و باربری استفاده شد. به منظور تخمین هزینه‌ها، اطلاعات راهنمای برآورد هزینه منتشره از سوی یکی از موسسات معدنی آمریکا پس از اعمال تغییراتی به منظور بومی‌سازی و روزآمدسازی هزینه‌ها به کار برده شد. این نرم‌افزار به زبان برنامه‌نویسی C#.NET در محیط Visual Studio 2005 با طراحی ۱۵ فرم ویندوزی، ۴۰ کلاس و بیش از ۱۹ هزار خط کد تهیه شده است. همچنین برنامه، شامل پایگاه داده‌ها به‌منظور ذخیره و بازیابی مشخصات فنی تجهیزات از طریق جمع‌آوری اطلاعات از کاتالوگ‌های شرکت‌های مختلف سازنده (از قبیل Komatsu، Liebherr، Terex، Hitachi، Caterpillar) با قابلیت ورود اطلاعات توسط کاربر، داده‌ها و ضرایب تجربی در مورد پارامترهای مختلف دخیل در فرایند انتخاب تجهیزات، داده‌های هزینه‌ای تجهیزات و انجام بخشی از فرایند انتخاب در داخل پایگاه داده‌ها توسط نرم‌افزار SQL Server 2000 طراحی شده است. این نرم‌افزار با عنوان(EQSS (Equipment Selection Software، توانایی انتخاب ماشین‌آلات بارگیری و باربری از نظر فنی و محاسبه هزینه‌ها و ارائه همه گزینه‌های ممکن را دارد. خروجی برنامه به صورت ارائه گزارش‌هایی است که امکان ذخیره کردن در فرمت‌های xls، doc و pdf را دارد. علاوه بر توسعه نرم‌افزار، به منظور بررسی تأثیر اندازه کامیون‌ها بر هزینه‌ها، نمودار مربوط به اندازه کامیون و هزینه واحد (دلار بر تن) رسم شده است. نتایج تحلیل‌های انجام شده در مورد روابط ظرفیت_هزینه کامیون‌ها، نشان می‌دهد که نمودار مربوطه ابتدا روند نزولی دارد ولی افزایش ظرفیت کامیون از یک حدی بالاتر، موجب افزایش هزینه‌ها می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بارگیری، باربری، نرم افزار انتخاب تجهیزات، برآورد هزینه، پایگاه داده‌ها، تحلیل اندازه.

Keywords: Loading, Haulage, Equipment Selection Software, Cost Estimation, Database, Size Analysis.

مقدمه ۱
فصل اول: مروری بر روش‌های انتخاب تجهیزات
۱-۱- روش های تجربی ۴
۱-۱-۱- روش اهارا برای تعیین اندازه و تعداد شاول ۴
۱-۱-۲- روش اهارا برای محاسبه اندازه و تعداد کامیون ۵
۱-۱-۳- تعیین اندازه صندوقه شاول براساس تولید در شیفت ۵
۱-۲- روش های کلاسیک ۵
۱-۲-۱- تعیین ظرفیت تولید و تعداد شاول مورد نیاز معدن ۶
۱-۲-۲- تعیین ظرفیت تولید و تعداد لودر مورد نیاز معدن ۷
۱-۲-۳- محاسبه ظرفیت تولید و تعداد کامیون به منظور تخصیص برای هر شاول ۸
۱-۲-۳-۱- توان تولید نظری در ساعت ۸
۱-۲-۳-۲- توان تولید متوسط در ساعت ۸
۱-۲-۳-۳- توان تولید حداکثر در ساعت ۸
۱-۲-۳-۳- محاسبه تعداد کامیون براساس سیکل زمانی ۸
۱-۲-۳-۴- سیکل عملیاتی کامیون ۹
۱-۳- روش های تحقیق در عملیاتی ۱۰
۱-۳-۱- برنامه ریزی خطی _ عدد صحیح ۱۰
۱-۳-۲- کاربرد تئوری صف در انتخاب تعداد بهینه کامیون ۱۰
۱-۳-۳- شبیه سازی ۱۰
۱-۴- روش های هوش مصنوعی ۱۱
۱-۴-۱- کاربرد تئوری فازی در انتخاب تجهیزات ۱۱
۱-۴-۲- سیستم های خبره ۱۱
۱-۴-۲-۱- مقدمه ای بر سیستم های خبره ۱۱
۱-۴-۲-۲- کاربرد سیستم خبره در انتخاب تجهیزات معدنکاری سطحی ۱۲
۱-۴-۳- کاربرد الگوریتم ژنتیک در انتخاب تجهیزات ۱۳
۱-۵- انتخاب ماشین آلات به کمک فرایند تصمیم گیری چند معیاره (فرایند تحلیل سلسله مراتبی) ۱۴
۱-۵-۱- اصول فرایند تحلیل سلسله مراتبی ۱۴
۱-۵-۲- مراحل فرایند تحلیل سلسله مراتبی ۱۴
۱-۵-۲-۱- ساختن سلسله مراتبی ۱۴
۱-۵-۲-۲- محاسبه وزن ۱۴
۱-۵-۲-۳- بررسی نرخ ناسازگاری ۱۴
۱-۵-۳- مطالعه موردی از کاربرد AHP در انتخاب تجهیزات ۱۴
۱-۶- روش ضرایب مقایسه ای برای انتخاب کامیون های تخلیه از عقب ۱۷
۱-۶-۱- روابط بین ضرایب مقایسه ای و پارامترهای فنی ۱۷
۱-۶-۲- تعیین ضریب انتخاب کامیون های معدنی ۱۸
۱-۶-۲-۱- اندازه گیری پارامترهای فنی ۱۸

۱-۶-۲-۲- وارد کردن پارامترهای اقتصادی در تعریف معیار ۲۰
۱-۷- مدل تصمیم گیری سیستماتیک برای انتخاب ماشین آلات معدنکاری سطحی ۲۰
۱-۸- محاسبه تعداد واحدهای ذخیره برای سیستم شاول_ کامیون ۲۱
۱-۸-۱- توصیه و سفارش های مربوط به تعیین تعداد ماشین آلات ذخیره ۲۱
۱-۸-۲- معیار تعیین تعداد کامیون ذخیره با لحاظ کردن بعد اقتصادی ۲۲
فصل دوم: تأثیر اندازه تجهیزات بر عملکرد معادن روباز
۲-۱- محدودیت های اندازه تجهیزات ۲۵
۲-۲- پارامترهای مؤثر در انتخاب تجهیزات ۲۶
۲-۳- متغیرهای حساس به اندازه تجهیزات (ESSVs) ۲۶
۲-۳-۱- هزینه ماشین آلات ۲۷
۲-۳-۲- اختلاط باطله با ماده معدنی و قابلیت انتخابی بودن ۲۹
۲-۳-۳- طراحی نسبت باطله برداری و شیب ۳۰
۲-۳-۴- هزینه فراوری ۳۲
۲-۳-۵- هزینه های عملیاتی ۳۳
۲-۳-۵-۱- تعمیرونگهداری ۳۳
۲-۳-۵-۲- هزینه رانندگان ۳۵
۲-۳-۵-۳- هزینه تایرها ۳۵
۲-۳-۵-۴- هزینه بیکاری ۳۵
۲-۳-۶- جاده های باربری ۳۸
۲-۳-۷- ظرفیت تحمل بار زمین ۳۸
۲-۳-۸- حداقل سطح کف کاواک ۳۸
۲-۳-۹- انعطاف پذیری و قابلیت تغییر ۳۹
۲-۳-۱۰- جور شوندگی یا سازگاری ماشین آلات ۳۹
۲-۳-۱۱- سختی و پیچیدگی ۴۰
۲-۳-۱۲- محیط زیست ۴۰
۲-۴- روش انتخاب تجهیزات براساس ESSVs ۴۰
فصل سوم: برآورد هزینه تجهیزات جابه جایی مواد
۳-۱- برآورد هزینه واحد ۴۳
۳-۱-۱- هزینه مالکیت ۴۴
۳-۱-۱-۱- استهلاک ۴۴
۳-۱-۱-۲- بهره، بیمه و مالیات ۴۴
۳-۱-۲- هزینه های عملیاتی ۴۵
۳-۲- مدل های برآورد اقلام هزینه های سرمایه ای و عملیاتی ۴۵
۳-۲-۱- تخمین گر هزینه WME ۴۶
۳-۲-۱-۱- متدولوژی تخمین هزینه WME ۴۶
۳-۲-۱-۲- نحوه اعمال تغییرات به منظور بومی سازی داده های هزینه ای WME ۵۱

۳-۲-۲- برآورد اقلام هزینه های عملیاتی با استفاده از HART ۵۲
۳-۲-۳- مدل AUST ۵۴
۳-۲-۳-۱- برآورد اقلام هزینه های عملیاتی با استفاده از AUST ۵۴
۳-۲-۳-۲- مسائل مربوط به عدم استفاده از اطلاعات هزینه ای AUST ۵۷
فصل چهارم: پایگاه داده‌های نرم‌افزار
۴-۱- کلیات پایگاه داده ها ۶۰
۴-۱-۱- تعریف پایگاه داده ها ۶۰
۴-۱-۱-۱- داده ۶۰
۴-۱-۱-۲- اطلاع ۶۰
۴-۱-۱-۳-دانش ۶۰
۴-۱-۱-۴- تعریف پایگاه داده ها ۶۰
۴-۱-۲- سیستم مدیریت پایگاه داده ها ۶۰
۴-۱-۳- معماری سیستم پایگاه داده ها ۶۱
۴-۱-۴- مفهوم پایگاه داده های رابطه ای ۶۲
۴-۱-۵- زبان پرس و جوی ساخت یافته (SQL) ۶۳
۴-۲- طراحی پایگاه داده های نرم افزار ۶۳
فصل پنجم: تهیه نرم‌افزار انتخاب سیستم بارگیری - باربری در معادن روباز
۵-۱- آشنایی با زبان برنامه نویسی سی شارپ ۸۱
۵-۱-۱- مفهوم شئ گرایی ۸۱
۵-۱-۲- مفهوم بسته بندی اطلاعات ۸۲
۵-۱-۳- مفهوم وراثت ۸۲
۵-۱-۴- نحوه دستیابی به پایگاه داده ها ۸۲
۵-۲- الگوریتم انتخاب سیستم بارگیری _ باربری ۸۳
۵-۲-۱- انتخاب ماشین بارگیری از نظر فنی ۸۳
۵-۲-۲- نحوه تخصیص ماشین باربر مناسب برای گزینه های انتخابی ماشین بارگیری ۸۳
۵-۲-۳- نحوه تعیین تعداد ذخیره برای ماشین باربر ۸۸
۵-۲-۴- انتخاب گزینه بهینه با معیار حداقل مجموع هزینه ۸۸
۵-۳- نحوه پیاده سازی الگوریتم انتخاب تجهیزات ۹۰
۵-۴- راهنمای استفاده از نرم افزار ۹۱
۵-۴-۱- منوی File و View ۹۱
۵-۴-۲- منوی Input Data ۹۲
۵-۴-۳- منوی Equipment Selection ۹۵
۵-۴-۴- منوی Output ۹۷
۵-۶- آزمون و اجرا ۹۸
۵-۶- تحلیل اندازه کامیون ها ۹۹
جمع بندی، نتیجه گیری و پیشنهادها ۱۰۱

مراجع ۱۰۳
پیوست ۱..... ۱
پیوســت ۲..... ۵

شکل ۱-۱: سیستم خبره MINDER و برنامه های مربوطه. ۱۲
شکل ۱-۲: مدل AHP برای انتخاب سیستم بارگیری _ باربری. ۱۶
شکل ۱-۳: ماتریس قضاوت مقایسه زوجی برای مقیاس امتیازدهی پنج نقطه ای. ۱۷
شکل ۲-۱: هزینه بر تن برحسب اندازه کامیون ۲۵
شکل ۲-۲: متغیرهای حساس به اندازه تجهیزات. ۲۸
شکل ۲-۳: هزینه کل تولید برحسب اندازه های مختلف کامیون ۲۹
شکل ۲-۴: تأثیر کاهش ارتفاع پله بر اختلاط. ۳۰
شکل ۲-۵: تأثیر اندازه تجهیزات بر نسبت باطله برداری. ۳۲
شکل ۲-۶: روش های اندازه گیری و کمّی کردن ESSVs ۴۱
شکل ۴-۱: نمودار موجودیت _ رابطه مربوط به راندمان عملیاتی. ۶۴
شکل ۴-۲: نمودار موجودیت _ رابطه مربوط به زمان ثابت سیکل بارگیری لودر تخلیه از جلو. ۶۵
شکل ۴-۳: : نمودار موجودیت _ رابطه مربوط به مشخصات مواد. ۶۶
شکل ۴-۴: نمودار موجودیت _ رابطه مربوط به راندمان کاری. ۶۶
شکل ۴-۵: نمودار موجودیت _ رابطه مربوط به زمان سیکل شاول. ۶۷
شکل ۴-۶: نمودار موجودیت _ رابطه مربوط به مشخصات فنی لودر. ۶۹
شکل ۴-۷: نمودار موجودیت _ رابطه مربوط به مشخصات فنی شاول. ۷۱
شکل ۴-۸: نمودار موجودیت _ رابطه مربوط به مشخصات فنی کامیون. ۷۲
شکل ۴-۹: نمودار موجودیت _ رابطه مربوط به مشخصات فنی کامیون. ۷۳
شکل ۴-۱۰: نمودار موجودیت _ رابطه مربوط به مصرف سوخت تجهیزات. ۷۴
شکل ۴-۱۱: نمودار موجودیت _ رابطه مربوط به زمان تخلیه کامیون. ۷۴
شکل ۴-۱۲: نمودار موجودیت _ رابطه مربوط به زمان استقرار کامیون. ۷۵
شکل ۴-۱۳: نمودار موجودیت _ رابطه مربوط به ضریب سرعت کامیون در مسیر برگشت. ۷۶
شکل ۴-۱۴: نمودار موجودیت _ رابطه مربوط به اقلام هزینه مرجع HART ۷۷
شکل ۴-۱۵: نمودار موجودیت _ رابطه مربوط به داده های هزینه ای مرجع WMEI2006. ..... ۷۹
شکل ۵-۳: الگوریتم انتخاب اندازه و تعداد لودر. ۸۶
شکل ۵-۴: الگوریتم انتخاب اندازه و تعداد کامیون. ۸۷
شکل ۵-۵: الگوریتم تعیین تعداد کامیون ذخیره. ۸۹
شکل ۵-۶: الگوریتم محاسبه هزینه واحد برای یک ماشین. ۹۰
شکل ۵-۷: فرم دریافت آدرس فایل مورد نظر. ۹۲
شکل ۵-۸: فرم ورود اطلاعات مشخصات مواد. ۹۳
شکل ۵-۹: فرم ورود اطلاعات مشخصات معدن. ۹۳
شکل ۵-۱۰: فرم ورود اطلاعات مشخصات لودر. ۹۴
شکل ۵-۱۱: فرم ورود اطلاعات مشخصات شاول. ۹۴
شکل ۵-۱۲: فرم ورود اطلاعات مشخصات کامیون. ۹۵
شکل ۵-۱۳: فرم ورود اطلاعات داده های هزینه ای. ۹۵
شکل ۵-۱۴: فرم انتخاب ماشین بارگیری. ۹۶

شکل ۵-۱۵: فرم انتخاب سیستم بارگیری _ باربری..... ۹۷
شکل ۵-۱۶: خروجی نهایی نرم افزار با نمایش ماشین آلات با کمترین هزینه..... ۹۹
شکل ۵-۱۷: هزینه های مالکیت و عملیاتی (دلار بر تن) کامیون بر حسب ظرفیت کامیون.....۱۰۰

جدول ۱-۱: وزن نهایی گزینه ها برای انتخاب تجهیزات بارگیری _ باربری برای معدن روباز ارهانلی ۲۵
جدول ۲-۱: هزینه کل کامیون های CAT789 و CAT793..... ۳۸
جدول ۲-۲: نسبت تکنسین تعمیرونگهداری برای اندازه های مختلف کامیون..... ۴۳
جدول ۲-۳: هزینه افت تولید برای کامیون های با ظرفیت مختلف. ۴۶
جدول ۳-۱: عناوین قیمت های واحد در WME..... ۵۵
جدول ۳-۲: عناوین اطلاعات موجود در WME..... ۵۶
جدول ۳-۳۲: عناوین اطلاعات موجود در WME..... ۵۶
جدول ۳-۲: عمر تایر بر حسب ساعت برای ماشین آلات. ۶۱
جدول ۳-۳: ضریب مرمت تایر..... ۶۲
جدول ۳-۴: درصدهای مربوط به هزینه های تعمیر و نگهداری..... ۶۲
جدول ۳-۵: ضریب بار شاول..... ۶۲
جدول ۳-۶: مصرف سوخت (گالن بر اسب بخار_ساعت) ۶۲
جدول ۳-۷: ضریب روغنکاری برای تجهیزات دیزلی. ۶۳
جدول ۴-۱: مشخصات جداول اصلی پایگاه داده ها شامل مشخصات فنی و هزینه ای ماشین آلات..... ۷۲
جدول ۴-۲: مشخصات جدول قابلیت دسترسی..... ۷۳
جدول ۴-۳: مشخصات جدول بهره وری. ۷۳
جدول ۴-۴: مشخصات جدول راندمان عملیاتی..... ۷۳
جدول ۴-۵: مشخصات جدول قابلیت کندن..... ۷۴
جدول ۴-۶: مشخصات جدول ظرفیت های صندوقه لودر تخلیه از جلو..... ۷۴
جدول ۴-۷: مشخصات جدول زمان ثابت سیکل بارگیری لودر تخلیه از جلو. ۷۴
جدول ۴-۸: مشخصات جدول مشخصات مواد..... ۷۴
جدول ۴-۹: مشخصات جدول شرایط عملیاتی..... ۷۵
جدول ۴-۱۰: مشخصات جدول راندمان کاری. ۷۵
جدول ۴-۱۱: مشخصات جدول ضریب مقاومت غلتشی..... ۷۶
جدول ۴-۱۲: مشخصات جدول ظرفیت های صندوقه شاول. ۷۶
جدول ۴-۱۳: مشخصات جدول زمان سیکل شاول. ۷۶
جدول ۴-۱۴: مشخصات جدول زاویه چرخش شاول. ۷۷
جدول ۴-۱۵: مشخصات جدول ضریب چرخش شاول. ۷۷
جدول ۴-۱۶: مشخصات جدول نام کمپانی..... ۷۷
جدول ۴-۱۷: مشخصات جدول نوع ماشین..... ۷۷
جدول ۴-۱۸: مشخصات جدول مشخصات فنی لودر. ۷۸
جدول ۴-۱۹: مشخصات جدول نوع موتور. ۷۹
جدول ۴-۲۰: مشخصات جدول مشخصات شاول. ۷۹
جدول ۴-۲۱: مشخصات جدول مشخصات فنی کامیون. ۸۰
جدول ۴-۲۲: مشخصات جدول منحنی عملکرد کامیون..... ۸۱

جدول ۴-۳: مشخصات جدول مصرف سوخت تجهیزات. ۸۲
جدول ۴-۲۴: مشخصات جدول زمان تخلیه کامیون. ۸۳
جدول ۴-۲۵: مشخصات جدول زمان استقرار کامیون. ۸۴
جدول ۴-۲۶: مشخصات جدول ضریب سرعت کامیون در مسیر رفت. ۸۴
جدول ۴-۲۷: مشخصات جدول ضریب سرعت کامیون در مسیر برگشت. ۸۵
جدول ۴-۲۸: مشخصات جدول ضرایب هزینه مرجع HART ۸۵
جدول ۴-۲۹: مشخصات جدول اقلام هزینه مرجع WMEI2006. ..... ۸۶

مقدمه

عملیات اصلی تولید در اکثر معادن شامل حفاری، آتشباری، بارگیری و باربری می‌باشد. هزینه‌های بارگیری و باربری در معادن روباز بیش از ۵۰ درصد هزینه‌های معدنکاری را شامل می‌شود. در واقع می‌توان گفت که‌هزینه‌های حمل و نقل یکی از عوامل مهم در سودآوری پروژه‌های معدنی به ویژه معدن روباز می‌باشد و یک انتخاب نادرست می‌تواند علاوه بر غیراقتصادی کردن عملیات، باعث ایجاد یک سری مشکلات غیرمنتظره در مدیریت ناوگان ماشین‌آلات شود. تنوع ماشین‌آلات بارگیری و باربری با ظرفیت‌های مختلف در سراسر جهان و نقش مهم هزینه های مالکیت و عملیاتی، نیاز استفاده از روش های نوین اطلاعاتی و انتخاب ماشین‌آلات را به منظور مطالعات امکان‌سنجی می‌طلبد.

انتخاب ماشین‌آلات معدنکاری را با توجه به عوامل فنی و اقتصادی، می‌توان در دو مرحله انجام داد. در مرحله اول، انتخاب مقدماتی براساس پارامترهای زمین‌شناسی، ژئومکانیکی، ژئوتکنیکی و پارامترهای فنی و در مرحله دوم، انتخاب بهینه برمبنای پارامترهای اقتصادی انجام می‌گیرد.

هدف از طراحی نرم‌افزار EQSS ، انتخاب سیستم بارگیری – باربری با معیار کمینه‌سازی مجموع هزینه واحد (هزینه بر تن) سیستم بارگیری_ باربری در مرحله مطالعات پیش امکان‌سنجی و امکان‌سنجی می‌باشد. فرایند انتخاب سیستم بارگیری_ باربری به این صورت است که ابتدا تجهیزات بارگیری با هدف برآورده کردن ظرفیت عملیاتی سالانه معدن انتخاب می‌شود و سپس تجهیزات باربری متناسب با تجهیزات بارگیری براساس ضریب جورشوندگی تخصیص می‌یابد. پس از آن، هزینه‌های مالکیت و عملیاتی محاسبه و تعداد کامیون‌های ذخیره برای سیستم تعیین و در نهایت براساس معیار مذکور، گزینه مناسب انتخاب می‌گردد.

در مرحله مطالعات امکان‌سنجی، هدف از انتخاب تجهیزات، دستیابی به یک انتخاب اولیه برای تصمیم‌گیری راجع به سرمایه‌گذاری و نه بهینه‌سازی است. در ضمن به دلیل عدم دسترسی به اطلاعات کافی از قبیل موقعیت سینه‌کارها و برنامه‌ریزی تولید، استفاده از روش‌های کلاسیک کفایت می‌کند. اگرچه انتخاب تجهیزات بارگیری و باربری، موضوع جدیدی نیست و تحقیقاتی در این زمینه صورت گرفته است، ولی نگرش متفاوت به حل مسأله و طراحی نرم‌افزار همراه با طراحی پایگاه داده‌ها به ویژه داده‌های هزینه‌ای و فنی از جنبه‌های تمایز این تحقیق نسبت به تحقیقات قبلی است.

فصل اول این پایان‌نامه، به معرفی روش‌های به کار رفته در انتخاب تجهیزات شامل روش‌های تجربی، کلاسیک، تحقیق در عملیاتی، هوش مصنوعی و سایر روش‌ها اختصاص می‌یابد. همچنین نحوه محاسبه تعداد ماشین‌آلات ذخیره برای کامیون با توجه به منابع مختلف و نیز با در نظر گرفتن بعد اقتصادی آورده می‌شود.

در فصل دوم، به تأثیر اندازه تجهیزات بر عملکرد معادن روباز پرداخته می‌شود. به این منظور، متغیرهای حساس به اندازه تجهیزات معرفی و تأثیر اندازه تجهیزات بر این پارامترها مورد بحث قرار می‌گیرد. هدف از ارائه مطالب این فصل، توجه به این نکته است که هدف اصلی، سازگاری انتخاب تجهیزات و هندسه کاواک به منظور دستیابی به حداکثر بهره‌وری از ذخیره با کمترین هزینه به ازای هر تن محصول قابل فروش می‌باشد.

موضوع فصل سوم، تعیین هزینه واحد به ازای هر تن مواد جابه‌جا شده به عنوان معیار مقایسه تجهیزات می‌باشد. بدین منظور، ابتدا هزینه‌های عملیاتی و مالکیت به ازای واحد زمان محاسبه و سپس، با لحاظ کردن نرخ تولید ساعتی، هزینه بر تن به دست می‌آید. در مراجع مختلف، اقلام هزینه‌های عملیاتی تجهیزات به طرق مختلفی دسته‌بندی می‌شود و ضرایب و روابط متفاوتی برای تخمین هزینه‌های عملیاتی با توجه به داده‌های آماری در معدن، تجارب شخصی و قواعد سرانگشتی به کار می‌رود. در این فصل، شیوه برآورد هزینه واحد و نیز تخمین هزینه‌های عملیاتی مربوط به سه مرجع مختلف به طور تفصیلی آورده می‌شود.

طراحی پایگاه داده‌های نرم‌افزار در فصل چهارم توضیح داده می‌شود. در این فصل، ابتدا کلیاتی در مورد پایگاه داده‌ها در حد ضرورت ارائه و سپس نحوه طراحی پایگاه داده‌های نرم افزار به صورت جداول و نمودارهای موجودیت_رابطه آورده می‌شود.

فصل پنجم، به معرفی نرم‌افزار EQSS می‌پردازد. مطالب این فصل شامل معرفی زبان برنامه‌نویسی C#.NET ، ارائه الگوریتم انتخاب تجهیزات، نحوه پیاده‌سازی نرم‌افزار، راهنمای استفاده از نرم‌افزار همراه با حل یک مثال، نتایج و تفسیر آن‌ها می‌باشد.

فصل اول

مروری بر روش‌های انتخاب تجهیزات

هدف از انتخاب تجهیزات بارگیری و باربری، انتخاب یک ماشین و یا ترکیبی از ماشین‌آلات است که قادر به جابه‌جا کردن مقدار مشخصی از مواد در فاصله‌ای معین در یک بازه زمانی معین می‌باشد، در حالی که کمینه کردن هزینه‌ها نیز باید به عنوان هدف مدنظر باشد.[۱] تکنیک‌ها و الگوریتم‌های زیادی ابداع شده‌اند تا به مهندس معدن در انتخاب تجهیزات از میان تجهیزات موجود کمک کنند. در این فصل، روش‌های به‌کاررفته در انتخاب تجهیزات مطرح می‌شوند. این تکنیک‌ها، روش‌های تجربی، کلاسیک، تحقیق در عملیاتی، هوش مصنوعی و سایر روش‌ها را شامل می‌شوند.

۱-۱- روش‌های تجربی

۱-۱-۱- روش اهارا برای تعیین اندازه و تعداد شاول

اهارا و سابولسکی[1]، رابطه ۱-۱ را برای تعیین ظرفیت اسمی صندوقه شاول (یاردمکعب) برحسب ظرفیت روزانه معدن (ماده معدنی و باطله) ارائه داده‌اند[۲]:

$$BC = 0.145 \times T_p^{\,0.4} \qquad (۱-۱)$$

BC: ظرفیت صندوقه شاول (یاردمکعب) و T_p : تولید روزانه معدن (تن کوچک) است.

تعداد شاول‌های مورد نیاز (N_s) با ظرفیت صندوقه BC برای بارگیری T_p تن کوچک ماده معدنی و باطله از رابطه ۱-۲ محاسبه می‌شود:

$$N_s = 0.011 \frac{T_p^{\,0.8}}{BC} \qquad (۱-۲)$$

[1] O`Hara and Suboleski

در عمل، اندازه شاول انتخابی، شاولی با اندازه صندوقه استاندارد خواهد بود که نزدیک به اندازه محاسبه شده از رابطه ۱-۱ می‌باشد. تعداد محاسبه شده شاول‌ها (N_s) معمولاً یک عدد صحیح نیست. این عدد باید به عدد کوچک‌تر گرد شود. عدد کسری حذف شده بیانگر نیاز به یک شاول کوچک‌تر یا لودر معمولی برای خدمات بارگیری کمکی می‌باشد. البته این شاول کوچک‌تر یا لودر باید قابلیت بارگیری کامیون‌های مورد استفاده برای شاول‌های اصلی با اندازه صندوقه BC را داشته باشد.

۱-۱-۲- روش اهارا برای محاسبه اندازه و تعداد کامیون

رابطه ۱-۳برای محاسبه اندازه کامیون‌هایی که با ظرفیت صندوقه شاول انتخابی سازگار می‌باشد، ارائه شده است:[۲]

$$TC = 9 \times BC^{1.1} \qquad (۳-۱)$$

TC: ظرفیت کامیون (تن‌کوچک) است.

تعداد کامیون مورد نیاز(N_t) با ظرفیت TC برای ناوگان کامیون‌های معدن روباز، به‌همراه تعدادی کامیون اضافی به‌منظور جایگزینی کامیون‌های تحت تعمیر از رابطه ۱-۴ محاسبه می‌گردد[۲]:

$$N_t = 0.25 \times \frac{T_p^{\,0.8}}{TC} \qquad (۴-۱)$$

۱-۱-۳- تعیین اندازه صندوقه شاول براساس تولید در شیفت

برای انتخاب اندازه مناسب شاول برقی، رابطه تجربی ۱-۵ نیز یک مقدار تقریبی را به دست می دهد[۳]:

$$BC = \frac{PPS}{1200} \qquad (۵-۱)$$

BC: ظرفیت صندوقه شاول (مترمکعب) و PPS: میزان تولید در شیفت می باشد. اندازه شاولی که باید واقعاً انتخاب شود مساوی یا بیش‌تر از اندازه محاسبه شده توسط رابطه ۱-۵ می باشد[۳].

۱-۲- روش‌های کلاسیک

روش‌های کلاسیک برای سالیان متمادی برای انتخاب بهترین ترکیب تجهیزات در صنعت معدنکاری مورد استفاده قرار می‌گرفت. نمونه‌ای از این نوع روش‌ها، انتخاب تجهیزات بسته به شرایط تولید است. مثال بارز، انتخاب اندازه‌های شاول و اختصاص کامیون‌ها به شاول می‌باشد. روش کلاسیک بر این فرض مبتنی است که عملیات اصلی در معدن شامل کندن، بارگیری و باربری به همدیگر وابسته‌اند و هدف کمینه‌سازی هزینه‌های عملیاتی می‌باشد.[۴] در ادامه، نحوه تعیین اندازه و تعداد لودر و شاول

براساس برآورده کردن تولید مورد نیاز معدن و نحوه تخصیص کامیون‌ها به تجهیزات بارگیری با استفاده از سیکل زمانی توضیح داده می‌شود.

۱-۲-۱- تعیین ظرفیت تولید و تعداد شاول مورد نیاز معدن

ظرفیت تولید ساعتی شاول (Q) براساس حجم برجای مواد از رابطه ۱-۶ محاسبه می‌شود[۱]:

$$Q(\frac{bank\ m^3}{hr}) = BC \times \frac{F_f}{F_s} \times \frac{60}{t_{c_{sh}}} \times S \qquad (۶-۱)$$

BC ظرفیت صندوقه شاول (مترمکعب)، F_f ضریب پرشوندگی صندوقه، F_s ضریب تورم[۱]، $t_{c_{sh}}$ زمان سیکل عملیاتی شاول (دقیقه) برای زاویه چرخش ۹۰ درجه و S ضریب چرخش است.

برای محاسبه تعداد شاول(N_{sh})، میزان تولید سالانه براساس حجم برجا (Ppy)(مترمکعب) و ساعات کاری سالانه($whpy$) باید معلوم باشد که از روابط ۱-۷ و ۱-۸ محاسبه می‌شود[۵]:

$$whpy = Nshpy \times Nhpsh \times A \times U \qquad (۷-۱)$$

$$N_{sh} = \frac{Ppy}{whpy \times Q} \qquad (۸-۱)$$

$Nshpy$ تعداد شیفت‌های برنامه‌ریزی شده در سال، $Nhpsh$ تعداد ساعات در شیفت، A ضریب قابلیت دسترسی و U ضریب بهره‌وری می‌باشد. ضریب قابلیت دسترسی و بهره‌وری، دو پارامتر مهم در تعیین ساعات کاری ماشین است، لذا تعاریف مربوط به آن‌ها در ادامه بیان می‌شود:

- **ضریب قابلیت دسترسی[۲] (A):**

این ضریب، کاهش در زمان برنامه‌ریزی شده را به‌دلیل تأخیرهای مکانیکی و الکتریکی نشان می‌دهد. تأخیرهای ناشی از مشکلات مکانیکی یا الکتریکی(H_{dm})، زمان برنامه‌ریزی شده‌ای است که ماشین به دلیل خرابی یا تعمیرات مکانیکی یا الکتریکی نمی‌تواند فعالیت کند، این زمان شامل تعویض قطعات فرسوده، جوشکاری و امثالهم و نیز تعمیرات اساسی می‌باشد. در صورت وجود داده‌های زمانی، قابلیت دسترسی از تقسیم ساعات قابل‌دسترس (H_a) بر ساعات برنامه‌ریزی شده[۳] (H_s) محاسبه می‌شود[۶]:

$$A = \frac{H_a}{H_s} = \frac{H_s - H_{dm}}{H_s} \qquad (۹-۱)$$

---

[1] ضریب تورم، نسبت بین چگالی برجا به چگالی نابرجا می باشد.

[2] Availability

[3] ساعات برنامه‌ریزی شده برابر است با ساعات تقویمی منهای تأخیرهای برنامه‌ریزی شده و غیر قابل کنترل. تأخیرهای برنامه ریزی شده مانند تعطیلات عمومی، مرخصی و شیفت‌های برنامه‌ریزی نشده است. تأخیرهای غیر قابل کنترل مانند زمان اعتصاب، آب و هوای نامساعد، قطع برق و سایر دوره هایی‌که ماشین یا پرسنل (عملیاتی یا پشتیبانی) فرصتی برای انجام کار ندارند. [۶]

- **ضریب بهره‌وری[1] (U)**

این ضریب، مقدار زمان قابل دسترس را که ماشین کار می‌کند، نشان می‌دهد. تأخیرهای عملیاتی (H_{du})، بخشی از زمان قابل‌دسترس است که ماشین کار نمی‌کند. این امر، ممکن است به دلیل انتظار برای فعالیت‌هایی مانند کار دوزر، جابجایی کابل، تأخیرهای آتشباری، لق‌گیری، جابجایی ماشین[2] و تأخیرهای دیگری ناشی از مشکلات عملیاتی مانند نظارت، نیروی انسانی و پشتیبانی و فعالیت کم بازده باشد. بهره‌وری می‌تواند از تقسیم ساعات عملیاتی یا بهره‌وری(H_u) به ساعات قابل دسترس(H_a) محاسبه شود[۶]:

$$A=\frac{H_u}{H_a}=\frac{H_s-H_{dm}-H_{du}}{H_s-H_{dm}} \qquad (۱۰-۱)$$

دامنه تغییرات این دو پارامتر بین ۰/۹۵ تا۰/۷ و مقدار معمول آن‌ها ۰/۸۵ است. حاصل‌ضرب این دو پارامتر به‌عنوان راندمان عملیاتی[3]معرفی می‌شود. [۶]

۱-۲-۲- تعیین ظرفیت تولید و تعداد لودر مورد نیاز معدن

به‌دلیل تحرک زیاد لودر، مهم‌ترین عامل در تعیین نرخ تولید، بار عملیاتی[4](OL) می‌باشد نه ظرفیت حجمی صندوقه. چون اگر لودر در حداکثر بار کار کند و مواد جابجا شونده چگالی کمی داشته باشد، لودر زیر قدرت واقعی خود کار می‌کند و اگر چگالی مواد زیاد باشد ناپایدار می‌شود. ظرفیت صندوقه (BC) از رابطه ۱-۱۱ تعیین می‌شود[۱]:

$$BC=\frac{OL}{\gamma_l\times F_f} \qquad (۱۱-۱)$$

نرخ تولید لودر (تن بر ساعت) می‌تواند از معادله ۱-۱۲ محاسبه شود[۱]:

$$Q(\frac{ton}{hr})=O\,L\times\frac{60}{t_{c_l}}\times A\times U \qquad (۱۲-۱)$$

مقدار $O\,L$ از کاتالوگ‌های سازندگان به‌دست می‌آید و t_{c_l} زمان سیکل عملیاتی لودر می‌باشد.

تعداد لودر مورد نیاز از رابطه (۱-۸) محاسبه می‌شود، با این تفاوت که تولید سالانه بر حسب تن است و مقدار Q از رابطه (۱-۱۲) جای‌گزاری می‌شود و ضریب دسترسی و بهره‌وری نیز در رابطه (۱-۱۲) لحاظ شده است.

[1] Utilization
[2] Propelling
[3] Operating Efficiency
[4] Operating Load