

جمهوری اسلامی ایران
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور

مدیریت بهره برداری ماشین آلات عمرانی

نشریه شماره ۴۴۹

معاونت نظارت راهبردی
دفتر نظام فنی اجرایی

www.nezamfani.ir

۱۳۸۸

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه کرده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر

گزارش فرمایید:

- ۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
 - ۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.
 - ۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.
 - ۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.
- کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی‌علی‌شاه، مرکز تلفن ۳۳۲۷۱، معاونت برنامه‌ریزی و

نظارت راهبردی رییس جمهور، دفتر نظام فنی اجرایی

Email: info@nezamfani.ir

web: www.nezamfani.ir

پیشگفتار

ماشین آلات عمرانی نقش بسیار مهمی در اجرای پروژه‌های عمرانی دارند و امروزه تقریباً هیچ پروژه عمرانی را نمی‌توان یافت که بدون استفاده از ماشین‌آلات قابل اجرا باشد. دلیل استفاده از ماشین‌آلات در پروژه‌های عمرانی، در اجرای صحیح کار با سرعت زیاد پیشرفت و با هزینه پایین نهفته است. علاوه بر این امروزه به کمک ماشین‌آلات می‌توان پروژه‌های بزرگ را در مدت زمان کمی می‌توان اجرا کرد که پیش از این امکان پذیر نبود. همچنین برخی مشکلات اجرایی و مخاطرات مربوط، منجر به تولید ماشین‌های ویژه و سفارشی برای انجام برخی از عملیات‌های خاص شده است. بنابراین روند موجود در پروژه‌ها به سمت استفاده هر چه بیشتر از ماشین‌آلات در عملیات‌های اجرایی پیش می‌رود.

در این میان انتخاب ماشین‌آلات بخش مهمی از مراحل اولیه یک پروژه و از وظایف مدیران پروژه است. انتخاب نادرست ماشین‌آلات، پیامدهای ناخوشایندی مانند افزایش زمان و هزینه پروژه و کیفیت نامطلوب اجرای پروژه را در پی خواهد داشت. اما انتخاب صحیح ماشین‌آلات به پیشرفت و کیفیت پروژه و حداقل نمودن هزینه‌ها کمک شایانی خواهد نمود. روند انتخاب ماشین‌آلات برای هر نوع پروژه عمرانی به مواردی نظیر بازدهی (راندمان)، خصوصیات فنی زمین، هزینه‌های به کارگیری ماشین و سایر موارد ارتباط دارد. هدف از این کتاب، ارائه شاخص‌های کیفی و کمی به منظور تعیین مناسب ماشین‌آلات برای انجام یک کار عمرانی می‌باشد.

در فصل اول (مدیریت و سرپرستی و برنامه ریزی ماشین‌آلات ساختمانی)، انتخاب ماشین‌آلات ساختمانی از منظر اقتصادی و فنی مطرح می‌شود. این فصل در بردارنده مطالب کلی مدیریت و سرپرستی ماشین‌آلات و برنامه ریزی و مدیریت کار می‌باشد. فصل دوم (هزینه‌های تهیه، به کارگیری و نگهداری ماشین‌آلات) مربوط به اقتصاد ماشین‌آلات نظیر سرمایه و عوامل مؤثر از نظر اقتصادی در انتخاب ماشین‌آلات، بررسی مخارج تملک ماشین‌آلات، محاسبه استهلاک و هزینه‌های مصرف سوخت، روغن، لاستیک، قطعات یدکی و غیره بوده و در نهایت به محاسبه مخارج ساعتی ماشین‌آلات می‌پردازد. فصل سوم (مشخصات فنی، روشهای اجرا و انتخاب صحیح ناوگان ماشین‌آلات) مربوط به محاسبات انتخاب ماشین‌آلات به صورت تک و سپس ناوگانی بوده و با داشتن احجام عملیات و مدت زمان اجرای عملیات به طراحی و انتخاب ناوگان ماشین‌آلات می‌پردازد. در این مباحث علاوه بر مطرح نمودن راندمان اسمی و واقعی کارکرد ماشین‌آلات به صورت تک، به نحوه عملکرد آنها به صورت گروهی پرداخته می‌شود. همچنین در ادامه مبحث به موضوعات نوین در انجام محاسبات طراحی ناوگان پرداخته می‌شود و در انتها به عنوان نمونه برای یک پروژه واقعی ناوگان بهینه و مطلوب ماشین‌آلات محاسبه می‌گردد.

معاون نظارت راهبردی

۱۳۸۸

مدیریت بهره‌برداری ماشین‌آلات عمرانی

نشریه شماره ۴۴۹

تهیه کننده:

این مجموعه به وسیله شرکت مهندسين مشاور مهتاب قدس با همكاري آقایان مهندس احسان فرصت‌كار، مهندس مجید پرچمی جلال و مهندس یوسف فروزانفر تهیه و تدوین شده است.

مدیر طرح

همچنین شرکت مهندسان مشاور آوند طرح بعنوان مدیر طرح، با استفاده از نظرات متخصصین ذیربط نشریه حاضر را مورد بررسی و اصلاح قرار داده است.

کمیته راهبری و تصویب نهایی

مسئولیت کنترل و تصویب نهایی این مجموعه با آقایان دکتر سید جواد قانع‌فر معاون دفتر و مهندس مصطفی اشجع‌مهدوی رییس گروه دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله بوده است.

کمیته پشتیبانی تهیه کننده:

این نشریه با پشتیبانی و همکاری آقایان محمدرضا حدادی، سیدمرتضی حسینی، محمدعلی رحیمی، علی محمد علی‌رضالو، علی اکبر برزگر، محمدتقی رجبی، حسام دهقان، حمید برهانی، علی ضیایی، پویا عباسپور نادری، یعقوب فرنام، محمدامین عصاره، محمد نیکپور، فرید مرادی، هادی فضلی، مهدی محمدی و خانم‌ها سمانه قاسمی، میترا بختیاری و آرزو ابراهیمی تهیه گردیده است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ۱: مدیریت و سرپرستی ماشین آلات	
۱-۱- عوامل موثر در انتخاب ماشین آلات.....	۱
۱-۱-۱- بازدهی ماشین آلات.....	۱
۱-۱-۲- مشخصات فنی پروژه.....	۶
۱-۱-۳- نوع کار.....	۶
۱-۱-۴- حجم کار.....	۶
۱-۱-۵- تکنولوژی به کار رفته برای انجام کار.....	۶
۱-۱-۶- مدت زمان پروژه.....	۶
۱-۱-۷- بودجه پروژه.....	۷
۱-۱-۸- هزینه‌ها.....	۷
۱-۲- برنامه ریزی و مدیریت کار.....	۷
۱-۲-۱- برنامه ریزی.....	۷
۱-۲-۲- زمانبندی.....	۷
فصل ۲: هزینه‌های تهیه، به کارگیری و نگهداری ماشین آلات	
۱-۲- مقدمه.....	۱۱
۲-۲- تامین ماشین آلات از طریق خریداری و محاسبه مخارج ساعتی تملک و بهره‌برداری.....	۱۱
۱-۲-۲- هزینه‌های مالکیت و بهره‌برداری ماشین آلات.....	۱۳
۲-۲-۳- ساعات کارکرد ماشین آلات.....	۲۴
۲-۲-۴- هزینه‌های بهره‌برداری ماشین آلات.....	۲۷
۲-۲-۵- عمر اقتصادی ماشین آلات.....	۳۰
۲-۲-۶- انواع روشهای محاسبه مخارج ساعتی مالکیت و بهره‌برداری از ماشین آلات.....	۳۵
۲-۲-۷- دستورالعمل سازمان برنامه و بودجه.....	۴۴
۲-۲-۸- بررسی مخارج تملک ماشین آلات و مقایسه با روشهای دیگر.....	۵۲
۲-۲-۹- معیارهای موثر در تامین ماشین آلات.....	۵۶
فصل ۳: مشخصات فنی، روشهای اجرا و انتخاب صحیح ناوگان ماشین آلات	
۱-۳- روش‌های اجرایی.....	۵۹
۲-۳- محاسبه اتلاف زمان در انجام عملیات.....	۶۰
۱-۲-۳- طولانی شدن مدت عملیات اجرایی به دلیل تاخیرهای طولانی.....	۶۰

- ۳-۲-۲- طولانی شدن مدت عملیات اجرایی به دلیل تاخیرهای کوتاه مدت ۶۰
- ۳-۳- تعیین حجم عملیات و برنامه ریزی انجام عملیات ۶۱
- ۳-۳-۱- تعریف عملیات خاکی ۶۱
- ۳-۳-۲- اندازه گیری حجم عملیات ۶۳
- ۳-۳-۳- برآورد عملیات خاکی ۶۴
- ۳-۳-۴- مشخصات انواع خاک ۷۰
- ۳-۴- راندمان اسمی و واقعی ماشین آلات ۷۲
- ۳-۴-۱- محاسبه حجم عملیات خاکی بیل مکانیکی ۷۳
- ۳-۴-۲- محاسبه حجم عملیات خاکی گریدر : ۷۶
- ۳-۴-۳- محاسبه حجم عملیات خاکی لودر ۷۸
- ۳-۴-۴- محاسبه حجم عملیات خاکی غلتک ۸۳
- ۳-۴-۵- محاسبه حجم عملیات خاک بولدوزر ۸۴
- ۳-۴-۶- محاسبه ظرفیت تولید و حجم عملیاتی کامیون ۸۹
- ۳-۴-۷- محاسبه حجم عملیات خاکی اسکرپر ۹۶
- ۳-۵- ارتباط ماشین آلات همکار ماشین های خاکی ۱۰۴
- ۳-۶- ارتباط حجم عملیات با تعداد ماشین آلات ۱۰۹
- ۳-۶-۱- استفاده از مدل برنامه ریزی خطی ۱۱۱
- ۳-۶-۲- استفاده از سیستم های خبره (expert system) ۱۱۴
- ۳-۷- ارتباط ما بین زمان اجرای پروژه و ظرفیت ماشین آلات ۱۱۵
- ۳-۷-۱- طراحی گروه کار و تحلیل آن از طریق شاخص هزینه (Cost Index) ۱۱۷
- ۳-۷-۲- استفاده از شبیه سازی کامپیوتری ۱۱۸
- ۳-۸- انتخاب صحیح دستگاه ها، ظرفیت و تعداد ۱۲۰
- پیوست ۱ ۱۲۸
- پیوست ۲ ۱۲۹

فصل اول - مدیریت و سرپرستی ماشین آلات

با توجه به حجم عظیم پروژه‌ها سه مقوله مدیریت، ماشین آلات و فن آوری اجرا، بیش از پیش پیشرفت کرده‌اند و هنوز نیز احتیاج به پیشرفت دارند. در این میان با ازدیاد حجم پروژه‌ها، مقوله مدیریت دارای شاخه‌های گسترده‌ای شده است، زیرا هر کدام از بخش‌های مختلف پروژه احتیاج به تخصص ویژه و خاص خود دارد. مدیریت ماشین آلات عمرانی نیز از شاخه‌های علم مدیریت است که در پروژه‌های عمرانی جایگاه ویژه خود را پیدا کرده است. یکی از قابلیت‌های علم مدیریت ماشین آلات این است که با توجه به نیازها، شرایط، خواسته‌ها، محدودیت‌ها، هزینه‌ها و سایر عوامل حاکم بر پروژه می‌تواند ما را به سمت انتخاب ماشین آلات مناسب برای انجام کارهای مختلف راهنمایی کند. انتخاب صحیح ماشین آلات علاوه بر اجرای صحیح پروژه، به ما کمک می‌کند تا مدیریت ساده‌ای نیز بر ماشین آلات پروژه و همچنین کل پروژه داشته باشیم و از سوی دیگر انتخاب نادرست ماشین آلات بر مشکلات ما خواهد افزود. برای انتخاب ماشین آلات مناسب، باید شناخت دقیق از عوامل موثر بر انتخاب ماشین آلات داشت و با توجه به آن عوامل و اطلاع صحیح از ماشین آلات موجود، ماشین آلات مورد نظر را انتخاب کرد.

۱-۱- عوامل موثر در انتخاب ماشین آلات

۱-۱-۱- بازدهی ماشین آلات

بازدهی ماشین آلات را می‌توان با روش علمی و یا با روش رایج آن تعریف نمود:

تعریف علمی بازدهی عبارت است با نسبت مقدار کار انجام شده توسط ماشین به مقدار کار قابل انجام توسط آن. با توجه به این تعریف، بازدهی همیشه عددی بین ۰ تا ۱ و در صورتی که با درصد نشان داده شود بین ۰٪ تا ۱۰۰٪ می‌باشد.

تعریف رایج: بازدهی برابر است با مقدار کار انجام شده توسط ماشین در واحد زمان. این تعریف، همان تعریف علمی است که نشان‌دهنده قدرت و توانایی ماشین در انجام مقدار کار مشخص در واحد زمان می‌باشد. این تعریف استفاده و رواج بیشتری در کارهای عمرانی دارد. زمانی که یکی از دست‌اندرکاران کارگاه‌های عمرانی این جمله را بیان می‌کند: "بازدهی ماشین الف بیشتر از ماشین ب است" منظور این است که ماشین الف توان و کارایی بیشتری از ماشین ب برای انجام کاری مشخص و تعریف شده در زمان مشخص دارد.

بازدهی ماشین آلات به عوامل مختلفی مانند نوع و ساخت ماشین، شرایط فیزیکی، اپراتورها و نحوه مدیریت کلی و هماهنگی بین عوامل کار، بستگی دارد. به این ترتیب، دو تعریف جدید دیگر نیز مطرح می‌شود:

- **بازدهی حداکثر:** هرگاه بین کلیه عوامل کار، هماهنگی و همکاری کافی و کامل کاری وجود داشته باشد و شرایط فیزیکی نیز آماده باشد، بازدهی ماشین آلات به حداکثر مقدار ممکن خود می‌رسد که اصطلاحاً آن را بازدهی حداکثر می‌گویند.

- **بازدهی عادی:** در شرایط عادی به علت تأثیر عواملی از قبیل نقص در ایجاد هماهنگی و توقف‌های کوتاه و نظایر آن، بازدهی پایین‌تری حاصل می‌گردد که آن را بازدهی عادی می‌گویند.

با بررسی این دو تعریف می‌توان نتیجه گرفت که در واقع بازدهی علمی یک ماشین برابر است با نسبت بازدهی عادی به بازدهی حداکثر. همان طور که گفته شد، عوامل مختلفی در بازدهی ماشین‌آلات تأثیر دارند که یا به صورت آشکار و یا پنهان اثر خود را نشان می‌دهند. این عوامل عبارتند از:

- تأثیر ارتفاع کارگاه

ارتفاع از عوامل مهم موثر بر بازدهی ماشین‌آلات است که این عامل به طور مستقیم بر روی نیروی محرکه هر ماشین تأثیر می‌گذارد. برای بررسی این عامل ابتدا انواع روش‌های تامین نیروی محرکه مورد بررسی قرار می‌گیرد:

نیروی محرکه یا جلو برنده ابزار و ماشین‌آلات به سه روش تامین می‌گردد:

الف- نیروی انسانی: بعضی از ماشین‌آلات و ابزار توسط نیروی انسانی کار می‌کنند مانند: بیل، کلنگ، چکش، برخی جراثقالهای کوچک نظیر تی فور.

ب- موتورهای الکتریکی: بعضی از ماشین‌آلات توسط نیروی الکتریسیته کار می‌کنند، مانند دریل‌های برقی. بعضی از ماشین‌آلات بزرگ نیز با الکتروموتور کار می‌کنند، مانند دستگاه حفاری تونل.

ج- موتورهای احتراقی: بخش عمده‌ای از ماشین‌آلات مورد استفاده در کارهای عمرانی از موتورهای احتراقی استفاده می‌کنند که با بنزین و یا گازوئیل کار می‌کنند. این موتورها برای انجام کار احتیاج به هوا دارند. عمل تامین هوای این موتورها را اصطلاحاً تنفس می‌گویند. موتورهای احتراقی از نظر تنفس به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱. موتورهای با تنفس آزاد: در این موتورها، در زمان مکش و به علت خلا نسبی که در موتور به وجود می‌آید، هوای بیرون که فشارش بیشتر از هوای درون است، از طریق صافی هوا به درون موتور مکیده می‌شود.

۲. موتورهای با تنفس اجباری: این موتورها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- **توربو شارژ:** در این نوع موتورها، برای این که بتوانند هوای بیشتری به موتور برسانند تا تراکم هوا بیشتر شود، از دستگاه به نام توربو شارژ استفاده می‌کنند که در نتیجه مقداری هوای اضافی وارد موتور می‌شود و از طرفی، تزریق سوخت از طریق انژکتور نیز افزایش می‌یابد و قدرت موتور به مقدار ۱۸٪ تا ۲۵٪ افزایش می‌یابد. توربو شارژ از دو پره که در طرفین یک شفت نصب شده‌اند تشکیل شده است و یکی از پره‌ها کار توربین و دیگری کار پمپ را انجام می‌دهد. پره‌های توربین از دود خروجی موتور به حرکت درمی‌آید و باعث چرخاندن شفت می‌شود و با چرخیدن شفت، پمپ به حرکت درمی‌آید و هوای صاف شده را از صافی هوا می‌گیرد و با سرعت به موتور می‌رساند. سرعت دوران محور توربو شارژ به ۵۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ دور در دقیقه می‌رسد. این دستگاه، دستگاه بسیار ظریفی است و در تامین و نگهداری آن باید دقت کافی داشت.

- **سوپر شارژ:** این دستگاه مانند توربو شارژ عمل می‌کند، ولی تفاوت آن در این است که چرخش پره‌های شارژ توسط تسمه و یا چرخ دنده است.

با توجه به مطالب گفته شده، می‌توان تأثیر ارتفاع کارگاه در بازدهی ماشین‌آلات را با دقت بیشتری بیان کرد. هرچه ارتفاع کارگاه بیشتر باشد، فشار هوا کاهش پیدا می‌کند. این مسئله تأثیر مستقیم بر روی نحوه کار موتورهای احتراقی می‌گذارد. معمولاً سازنده‌های ماشین‌آلات، نمودارهای مربوط به کاهش قدرت موتور نسبت به ارتفاع از سطح دریا را ارائه می‌کنند. مقدار این تغییر در قدرت موتور،

در ارتفاعات بالاتر از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا، به ازای هر ۳۰۰ متر، تقریباً برابر ۳٪ می‌باشد. با توجه به این مطلب می‌توان نیروی کشش موتور را با رابطه زیر نشان داد.

$$P_H = P \cdot \frac{100 - 3 \left(\frac{H - 1000}{300} \right)}{100}$$

در این فرمول P قدرت موتور، H ارتفاع کارگاه از سطح دریا بر حسب متر و P_H قدرت موتور در ارتفاع H می‌باشد. ماشین‌هایی که موتور آنها، توربو شارژ می‌باشند، قادر هستند تا ارتفاع ۳۰۰۰ متری، قدرت خود را حفظ کنند. نیروی کششی موتور آنها نیز افت چندانی نمی‌کند.

- تأثیر درجه حرارت

درجه حرارت بر راندمان عملکرد موتورهای دیزلی و بنزینی به صورت مستقیم و بر راندمان موتورهای الکتریکی به صورت غیرمستقیم اثر می‌گذارد. راندمان موتورهای دیزلی در درجه حرارت بیش از ۱۵/۵ درجه و یا کمتر از ۱۵/۵ درجه سانتیگراد افت پیدا می‌نماید و این افت با هر ده درجه افزایش یا کاهش حدود ۲٪ از راندمان موتور خواهد بود. این مسئله را می‌توان با رابطه زیر نشان داد.

$$P_T = P \cdot \frac{100 - 2 \left| \frac{T - 15.5}{10} \right|}{100}$$

در این فرمول P قدرت موتور، T دمای محیط بر حسب درجه سانتیگراد و P_T قدرت موتور در دمای T می‌باشد.

- مقاومت در مقابل حرکت ماشین

سیستم حرکت ماشین آلات تأثیر به سزایی در راندمان آن دارد. انواع سیستم‌های حرکت ماشین آلات عبارتند از:

- ۱- چرخ فولادی
- ۲- چرخ لاستیکی
- ۳- چرخ زنجیری
- ۴- کابل

هر کدام از سیستم‌های حرکتی مزایا، معایب و کاربرد خود را دارند، به طور مثال از سیستم حرکتی چرخ زنجیری برای محل‌هایی که مقاومت خاک آنها بسیار پایین بوده و امکان حرکت با چرخ‌های لاستیکی و فولادی وجود ندارد استفاده می‌شود. چرخ‌های لاستیکی برای محل‌هایی که خاک آنها چسبنده است مناسب می‌باشد. با توجه به این مطالب، عواملی که با سیستم حرکتی ماشین در ارتباط است و بر روی راندمان ماشین نیز مؤثر است را بررسی می‌کنیم. یکی از مهمترین عواملی که در راندمان ماشین تأثیر می‌گذارد مقاومت در برابر حرکت است. مقاومت در برابر حرکت به دو بخش تقسیم می‌شود.

- مقاومت غلتشی

مقاومت غلتشی عبارت است از نیروی مقاوم در برابر شروع حرکت ماشین که عامل ایجاد آن ناهمواری مسیر، عدم تراکم صحیح جاده، فرو رفتن ماشین در مسیر حرکت و نوع خاک سطح جاده است. در واقع مقاومت غلتشی برابر است با نیروی کشش لازم برای شروع حرکت یک ماشین. مقاومت غلتشی برای یک وسیله چرخ لاستیکی که در روی یک سطح تراز، صاف و تخت قرار دارد حدوداً برابر است با ۲۰ کیلوگرم به ازای هر تن از وزن ماشین. به ازای هر ۲/۵ سانتیمتر نفوذ لاستیک وسیله نقلیه در زمین ۱۵ کیلوگرم به ازای هر تن وزن ماشین به مقاومت غلتشی افزوده می‌شود. بنابراین می‌توان ضریبی به نام ضریب مقاومت غلتشی (Γ) را با رابطه زیر تعریف کرد.

$$r = 20 + 10n$$

که در این رابطه n برابر است با مقدار نفوذ ماشین در خاک بر حسب اینچ (۲/۵ سانتی متر) و r برابر است مقدار مقاومت غلتشی به ازای هر تن از وزن ماشین. با این وصف، می‌توان مقاومت غلتشی را از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$R_r = r.W$$

در جدول شماره ۱-۱ مقادیر مقاومت غلتشی بر حسب کیلوگرم در هر تن برای انواع رویه زمین ارائه شده است:

جدول ۱-۱- مقاومت غلتشی برای انواع سطوح

مقاومت غلتشی (Kg/ton)	نوع و مشخصات رویه و سطح جاده
۲۰	آسفالت یا بتن
۳۰	سطح محکم، صاف و تا حدی انعطاف‌ناپذیر زیر بار
۴۰	خاکی آب پاشی نشده روی اساس محکم
۴۵	جاده خاکی، زیر بار وسایط نقلیه سست و نرم و با نفوذ بین ۲ تا ۵ سانتیمتر
۷۰	جاده خاکی، زیر بار وسایط نقلیه سست و نرم با نفوذ بین ۵ تا ۱۰ سانتیمتر
۹۰	ماسه سست و یا شن
۱۴۰-۱۸۰	زمین گلی و نرم و سست

در مورد وسایط نقلیه چرخ زنجیری معمولاً فرض می‌شود که مقاومت غلت در مقابل حرکت آنها وجود ندارد و از مقاومت غلت این وسایل صرف نظر می‌شود.

- مقاومت شیب

در سطوح شیب‌دار در اثر سربالایی‌ها و یا سرپایینی‌ها، مقاومت در برابر حرکت بیشتر می‌شود که این مقاومت اضافه، مقاومت شیب نامیده می‌شود. این مقاومت در سربالایی به صورت مثبت و در سرپایینی به صورت منفی عمل می‌کند. مقدار این نیرو از حاصل ضرب وزن ماشین در سینوس زاویه سطح شیب‌دار به افق به دست می‌آید که در زوایای کوچک می‌توان از تانژانت به جای سینوس استفاده کرد. به این ترتیب Q (مقدار نیروی مقاومت شیب بر حسب کیلوگرم) از رابطه زیر برابر خواهد بود:

$$Q = P \cdot \sin(j) = P \cdot \text{Tg}(j) = P \cdot j$$

که در این رابطه P وزن ماشین بر حسب کیلوگرم و j شیب بر حسب رادیان می‌باشد.

مقاومت شیب را به ازای هر یک درصد شیب و یک تن بار حمل شده معادل ۱۰ کیلوگرم در نظر می‌گیرند. بنابراین ضریب مقاومت شیب برای یک تن وزن وسیله نقلیه طبق رابطه زیر خواهد بود.

که در آن i عدد درصد شیب می‌باشد.

$$g = 10 \text{ (Kg/ton). } i$$

به این ترتیب مقاومت شیب برای کل وزن وسیله نقلیه از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$R_g = g.W$$

در این رابطه R_g مقاومت شیب وسیله نقلیه بر حسب Kg و W وزن وسیله نقلیه بر حسب تن می‌باشد.

- نیروی کشش ماشین آلات

نیروی کشش ماشین آلات عبارتست از نیروی کششی که در چرخ لاستیکی یا فولادی یا زنجیری هنگام حرکت استاندارد ماشین در آن وجود دارد. مقدار قابل استفاده این نیرو از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P = t.W$$

در این رابطه P برابر است با حداکثر نیروی کشش مفید بر حسب کیلوگرم و t برابر است با ضریب اصطکاک چرخ لاستیکی یا فلزی یا چرخ زنجیری بر حسب نوع و بر حسب جنس سطح مسیر حرکت چرخ، که در جدول ۱-۲ مقادیر این ضریب برای انواع رویه ها داده شده است. W برابر است با مقدار وزن وارد بر روی چرخ‌های محرک بر حسب کیلوگرم.

جدول ۱-۲ - مقادیر ضریب اصطکاک برای چرخ‌های لاستیکی و زنجیری در سطوح مختلف

چرخ زنجیری	چرخ لاستیکی	نوع سطح جاده
۰/۴۵	۰/۹	بتن خشک
۰/۴۵	۰/۸	بتن مرطوب
۰/۹	۰/۶	خاکی خشک
۰/۷	۰/۴۵	خاکی مرطوب
۰/۳	۰/۲۵	ماسه خشک متراکم نشده
۰/۲۵	۰/۲	ماسه خیس
۰/۲۵	۰/۲	برف متراکم شده
۰/۱۵	۰/۱	یخ

- تأثیر عوامل جوی

این عوامل عبارتند از باد، باران، برف، تابش آفتاب، درجه حرارت، فشار هوا و رطوبت که همگی در عملکرد ماشین و در نتیجه انتخاب آن مؤثرند. این عوامل همچنین در انجام وظیفه متصدیان و اپراتورها و مسئولین نیز تأثیر می‌گذارد، مسلماً کار کردن در هوای گرم یا سرد و شرعی یا خشک سخت‌تر از هوای عادی است. ضمن این که عامل گرما و سرما در روی نیروی انسانی و عملکرد آن نیز تأثیر می‌گذارد.

- میزان مهارت نیروهای انسانی

مهارت نیروی انسانی که با ماشین آلات سر و کار دارند به طور واضحی بر عملکرد آن تأثیر خواهد داشت. یک اپراتور ماهر می‌تواند با مصرف زمان کمتر، مصرف انرژی کمتر خود و ماشین، کار بیشتری نسبت به یک راننده نیمه‌ماهر یا تازه کار انجام دهد. از طرفی گاهی اوقات دیده می‌شود که یک فرد مثلاً یک راننده لودر در کار کردن با یک نوع لودر خاص توانایی و کارایی بالاتری دارد و در کار کردن با یک نوع لودر دیگر آن مهارت را ندارد که این مسئله به دلایل مختلفی از قبیل عادت، آموزش و شرایط فیزیکی شخص بستگی دارد. بنابراین انتخاب نیروی انسانی مناسب بر بازدهی ماشین آلات تأثیر آشکاری خواهد داشت.

- مشخصات محل کار از نظر وجود خطرات و فضای کافی برای تحرک

گاهی اوقات یک لودر در یک فضای بسته مانند یک تونل با محدودیت حرکتی و امکان ریزش کار می‌کند، گاهی ممکن است در یک زمین بیابانی کار کند و گاهی ممکن است در یک جاده کوهستانی کنار یک دره عمیق کار کند. مسلماً محدودیت‌های حرکت و خطرات کار کردن در کنار دره یا جایی که امکان ریزش وجود دارد بر بازده کار اثر می‌گذارد.

– مشخصات فنی و نوع کار

نوع کار نیز بر روی راندمان ماشین تأثیر خواهد گذاشت. به طور مثال عملیات حفاری در خاک سخت و خاک نرم و یا خاک چسبنده با سرعت‌های مختلف توسط یک ماشین انجام می‌شود. مسلماً راندمان حفاری با ماشین‌آلات حفاری در خاک سخت بسیار پایین‌تر است. گاهی اوقات عدم وجود تجربه در انجام بعضی کارها باعث کاهش راندمان می‌شود به طور مثال وقتی برای اولین بار تجربه ساخت مترو در تهران انجام شد، به علت بی‌تجربگی، بی‌نظمی و شلوغی، راندمان کار تا حد زیادی پایین بود.

۱-۱-۲- مشخصات فنی پروژه

مشخصات فنی یک پروژه، به خودی خود اثر شایانی بر نوع ماشین‌آلات لازم بر آن پروژه می‌گذارد. به طور مثال یک پروژه راهسازی بسیار متفاوت از یک پروژه ساختمان‌سازی است و طبعاً ماشین‌آلات لازم برای این دو پروژه نیز متفاوت است. در ادامه به توضیح اثرات مشخصات فنی پروژه بر نوع ماشین‌آلات می‌پردازیم.

۱-۱-۳- نوع کار

انتخاب ماشین باید با توجه به نوع کار انجام می‌شود. به طور مثال برای کار حفاری باید از ماشین‌هایی استفاده کرد که توانایی انجام کار حفاری را داشته باشد.

۱-۱-۴- حجم کار

نوع و تعداد ماشین‌ها باید متناسب با حجم کار باشد. به طور مثال برای عملیات خاکبرداری با حجم زیاد باید نوعی از لودر استفاده شود که توانایی جابجایی حجم بالایی از خاک را داشته باشد و یا باید تعداد لودرها را زیاد کرد.

۱-۱-۵- تکنولوژی به کار رفته برای انجام کار

تکنولوژی به کار رفته برای اجرای کار در انتخاب نوع ماشین تأثیر مهمی دارد. به طور مثال در صورتی که احتیاج به بتن‌ریزی داشته باشیم می‌توان از روش‌های مختلفی برای بتن‌ریزی استفاده کرد، در صورتی که روش بتن‌ریزی با پمپ انتخاب شود به پمپ احتیاج خواهیم داشت و در صورتی که بتن‌ریزی با باکت و جرثقیل انتخاب شود به باکت و جرثقیل احتیاج خواهیم داشت. یا مثلاً یک تونل دایره‌ای را می‌توان هم با دستگاه TBM حفر کرد، هم با ردهدر و هم با انفجار و روش‌های دستی.

۱-۱-۶- مدت زمان پروژه

مدت زمان پروژه می‌تواند اثر مهمی بر روی انتخاب ماشین‌آلات داشته باشد. گاهی برای تسریع در اجرای پروژه لازم است که از دستگاه‌های خاصی استفاده شود که سرعت انجام پروژه را بالا ببرد. مدت زمان بر روی تعداد ماشین‌آلات نیز تاثیر دارد، افزایش تعداد لودر و کامیون زمانی که باید عملیات خاکی در یک محدوده زمانی کوتاه انجام شود امری طبیعی است.

۱-۱-۷- بودجه پروژه

هزینه‌های پروژه را می‌توان با انتخاب ماشین‌آلات مختلف تغییر داد. با توجه به محدودیت‌های مالی گاهی مجبور به استفاده از ماشین‌آلات خاصی می‌شویم، گاهی نیز به خاطر عدم محدودیت مالی می‌توان از ماشین‌آلات مختلفی استفاده کرد که سرعت و کیفیت را مطابق میل ما تغییر دهد.

۱-۱-۸- هزینه‌ها

هزینه‌های به کارگیری و استفاده و نگهداری ماشین‌آلات، عامل بسیار موثری در انتخاب آنها هستند که در بخش بعد به تفصیل به توضیح آنها می‌پردازیم.

۱-۲- برنامه ریزی و مدیریت کار

روند برنامه‌ریزی مهمترین اصل در موفقیت پروژه‌های عمرانی است. تجربه نشان می‌دهد که هزینه پروژه‌هایی که با برنامه‌ریزی ضعیف انجام می‌شوند، تا ۵۰ درصد بیشتر از مواردی است که با برنامه‌ریزی مناسب به پایان رسیده‌اند. معمولاً در صنعت ساخت و ساز، دو واژه برنامه‌ریزی و زمان‌بندی به اشتباه به صورت جایگزین هم مورد استفاده قرار می‌گیرند، در حالیکه این دو واژه یک معنی ندارند.

۱-۲-۱- برنامه ریزی

برنامه ریزی یک واژه کلی است که مراحل و اهداف آن بسته به نوع برنامه ریزی متفاوت است. یک مدیر پروژه در هنگام برنامه ریزی باید موارد زیر را در نظر بگیرد:

۱. اهداف پروژه را از نظر زمان، کیفیت و هزینه مشخص کند.
 ۲. منابع مورد نیاز پروژه را از قبیل ماشین‌آلات و نیروی انسانی به طور دقیق شناسایی نماید.
 ۳. در مورد بهترین اقدام ممکن و بهترین کاربری منابع تصمیم بگیرد.
 ۴. روش‌های اجرای برنامه را تعیین کند.
- برنامه ریزی عملیات در واقع به عنوان اساس و پایه برای چندین وظیفه مرتبط با یکدیگر عمل می‌کند. این وظایف شامل برآورد فعالیت‌ها، زمانبندی و کنترل پروژه است.

۱-۲-۲- زمانبندی

زمانبندی، تعیین زمان عملیات در پروژه و مرتب کردن فعالیت‌ها برای تعیین کوتاهترین زمان تکمیل پروژه می‌باشد. در حقیقت زمانبندی انعکاس برنامه ریزی است.

پس از مشخص شدن نوع و مدت زمان اجرای پروژه مجری باید برنامه زمانبندی اجرای عملیات را تدوین نماید، به طوریکه در هر مقطع زمانی، گام‌های اجرایی که باید برداشته شوند مشخص باشد. داشتن چنین برنامه‌ای تردیدهای مزاحم و بازدارنده را حذف کرده، ایجاد تحرک نموده و از اتلاف وقت و انرژی جلوگیری می‌کند.

تهیه برنامه زمانبندی در یک فرایند تجزیه، بررسی اجزا و ترکیب اجزای بررسی شده به نحوی مطلوب و مناسب و با رعایت مسیر بهینه به شرح زیر انجام می‌گیرد:

▪ ابتدا فهرستی از تمامی کارهای لازم به منظور انجام عملیات از قبیل تهیه و تامین مصالح مورد نیاز، نصب تجهیزات و ماشین‌آلات و سایر موارد تدوین می‌گردد.

▪ سپس متناسب با حجم کار و شرایط موجود، عملیات به چند فعالیت اصلی تقسیم می‌شود.

▪ پس از مشخص شدن فعالیت‌ها یا اعمال اصلی، هر یک از آنها به تعدادی فعالیت جزء یا جزء عمل تجزیه می‌شوند که با انجام آنها عمل اصلی مورد نظر به اجرا در می‌آید.

▪ برای اجرای هر واحد فعالیت جزء؛ مصالح، تجهیزات و نیروی انسانی، آهنگ انجام و زمان لازم و نیازهای کل آن فعالیت جزء برآورد می‌شوند. در این مرحله با توجه به حجم عملیات مورد نظر که بستگی به ابعاد و اندازه پروژه دارد و همچنین با توجه به موقعیت و شرایط انجام پروژه هر یک از موارد مصالح، ماشین‌آلات، تجهیزات و شرایط موجود می‌توانند بر آهنگ انجام کار و در نتیجه بر زمان لازم برای انجام آن تاثیر بگذارند.

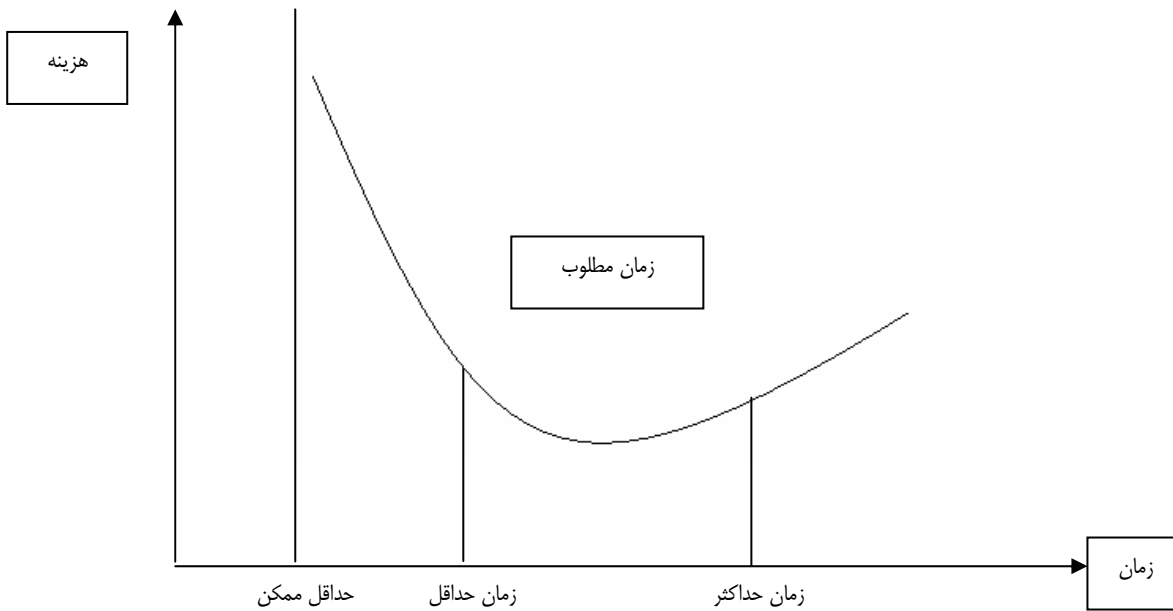
▪ بر اساس مطالعات انجام شده درباره مصالح و نیازهای تجهیزاتی، نیاز به نیروی انسانی تعیین شده، منابع، امکانات، ضوابط تامین نیروی انسانی، اعم از ماهر، نیمه ماهر و غیر ماهر (در امر سرویس و نگهداری و یا بهره برداری از ماشین‌آلات) در حالت‌های مختلف مطالعه و ارزیابی می‌شوند.

▪ پس از مشخص شدن نیازهای عملیات و انجام مطالعات فوق، بسته به مورد قدم بعدی برای تهیه برنامه زمانبندی، به شرح زیر برداشته می‌شود:

○ اگر زمان محدود باشد، پیمانکار از طریق مقایسه و بازنگری نیازها با آنچه در حال حاضر در اختیار دارد، کفایت یا عدم کفایت امکانات خود را ارزیابی می‌کند و در صورت لزوم کمبودها را بر طرف می‌نماید. نحوه تامین (خرید، اجاره و ساخت)، چگونگی آماده به کار نگاه داشتن تعمیر و نگهداری و تامین قطعات یدکی متناسب با حجم ماشین‌آلات باید مورد توجه قرار گیرد.

○ اگر زمان محدود نباشد، سازنده زمان تقریبی لازم برای اجرای کار را با امکانات موجود خود برآورد کرده و معقول بودن این زمان را بررسی می‌کند و اگر لازم باشد، تعادل منطقی را بین امکانات و مدت زمان اجرا برقرار می‌سازد. در این مورد باید توجه داشت که امروزه زمان با ارزش ترین ارقام مصرفی در کارگاه است و هنر یک مجری است که با تامین به موقع تجهیزات، مصالح و نیروی انسانی با مناسب ترین نوع و مقدار حتی المقدور زمان لازم برای اجرا را کوتاه کرده و از این راه هزینه‌ها را کاهش دهد.

▪ لازم به یاد آوری است که برای انجام عملیات اجرایی، یک بازه زمانی مناسب واقع در حد فاصل زمان حداقل و زمان حداکثر انجام آن وجود دارد که در این بازه زمانی می‌توان کار را با صرف هزینه‌های متعارف به پایان رساند. ولی تقلیل زمان اجرا به کمتر از حداقل فوق یا طولانی تر شدن مدت زمان عملیات اجرایی از حداکثر مزبور، به افزایش تصاعدی هزینه اجرایی منجر می‌شود. بدیهی است که با توجه به ملاحظات فوق باید در مورد مدت زمان اجرا اتخاذ تصمیم به عمل آید و با ایجاد تعادل بهینه بین امکانات و زمان اجرا، مدت زمانی مناسب و معقول برای اجرای عملیات تعیین و تثبیت شود.



شکل ۱-۱ تعادل بهینه بین هزینه و زمان اجرا

- پس از تثبیت مدت زمان اجرا با در اختیار داشتن تمامی اطلاعات، طرح اولیه سازماندهی و گردش کاری محل اجرای عملیات با این هدف تهیه می‌شود که با به کار بردن اصول مهندسی و ابداع روش‌های اجرای بهتر، بتوان با همسو کردن همه نیروها با تامین گردش کاری مناسب، به نحوی که هیچ فعالیتی مزاحم فعالیت‌های دیگر نشود و همچنین با هماهنگ کردن تعداد و حجم ماشین آلات، حداکثر استفاده از حجم عملیاتی آنها صورت گیرد، سعی می‌شود با صرف حداقل ماشین آلات و انرژی و زمان بیشترین نتیجه ممکن را به دست آورد.
- بر مبنای طرح سازماندهی تهیه شده و با در نظر گرفتن امکانات و محدودیت‌ها، در یک نظم منطقی و با رعایت تقدم و تاخر منطقی عمل‌های مختلف، کوشش می‌شود با هماهنگ کردن فعالیت‌ها به نحوی که با هم تداخل زمانی نداشته باشند، برنامه زمانبندی عملیات اجرایی طوری تهیه گردد که از امکانات بیشترین استفاده به عمل آید.
- اگر تامین این نقطه نظرها، تغییر، تکمیل یا تعدیلاتی در طرح اولیه سازماندهی و گردش کار عملیاتی ایجاد نماید، با اعمال این تغییرات برنامه زمانبندی نیز اصلاح می‌گردد.

فصل دوم- هزینه‌های تهیه، به کارگیری و نگهداری ماشین‌آلات

۱-۲- مقدمه

در مباحث آنالیز اقتصادی یک ماشین ساختمانی در درجه اول در مورد تخمین مخارج مالکیت و مخارج عملکرد آن بحث می‌شود و در ضمن سعی می‌گردد که عمر بهینه یک ماشین از نظر اقتصادی تخمین زده شود.

مخارج کارکرد و تملک ماشین آلات بر حسب مخارج ساعتی آن برآورد می‌شود. مخارج هزینه شده را می‌توان از تقسیم مخارج ساعتی ماشین بر کارکرد ساعتی آن تعیین نمود. رقم تخمینی برای مخارج کارکرد ماشین آلات به منظور استفاده در برآورد مبلغ مناقصه توسط پیمانکاران به کار می‌رود. البته محاسبه دقیق آن برای کنترل هزینه کارگاه و حسابداری پیمانکاری ضروری است.

از سوی دیگر آنالیز اقتصادی می‌تواند در مورد جابجایی و تعویض یک دستگاه ماشین به کار رود و معمولاً این هدف را دنبال می‌کند که مدت زمانی را برای عمر ماشین تعیین نماید که با آن عمر، سود حاصل از کار ماشین حداکثر شود. همیشه بخشی از طول زمان تملک ماشین که بیشترین بهره را می‌دهد از عمر اقتصادی ماشین کمتر می‌باشد.

اغلب انتخاب مناسبترین ماشین آلات مساله‌ای است که پیمانکاران برای اجرای پروژه با آن مواجه‌اند. مخارجی که برای خرید ماشین آلات ساختمانی هزینه می‌شود، باید به عنوان سرمایه‌ای در نظر گرفته شود که این سرمایه را بتوان با مقداری سود در مدت طول عمر مفید ماشین آلات بازگرداند. پیمانکار باید قادر باشد پول خرید ماشین آلات را از محل درآمد حاصل از به کارگیری آن تادیه کند. بنابراین اگر در ابتدا مشخص شود که درآمد حاصل از ماشین از مقدار سرمایه گذاری کمتر می‌شود، نباید چنین ماشینی خریداری شود.

پیمانکار هرگز نباید به دنبال آن باشد که تمام انواع و اقسام ماشین آلات مورد نیاز پروژه‌ای را که انجام می‌دهد خریداری نماید، ولی می‌تواند به وسیله خریداری ماشین‌آلاتی که در پروژه بیشتر مورد استفاده می‌باشند، نیاز خود را برطرف نماید. از آنجا که اگر پروژه به اندازه کافی بزرگ و طولانی نباشد نمی‌توان ماشین آلات را بعد از پایان پروژه به قیمت مناسب فروخت، لذا خرید ماشین در این مورد معقول نیست. آنالیز اقتصادی از این جهت کمک بسیار موثری در انتخاب نوع و روش به کارگیری ماشین‌آلات بوده و از سوی دیگر در تخمین قیمت پروژه‌ها برای کارفرمایان اهمیت فراوانی دارد.

در این فصل ابتدا تامین ماشین‌آلات به وسیله خریداری مورد بحث قرار گرفته و پیرو آن هزینه‌های ناشی از خریداری و محاسبه مخارج ساعتی ناشی از تملک و بهره‌برداری در حالت کلی و از دیدگاه چندین مرجع داخلی و خارجی مورد بحث واقع شده، سپس عمر اقتصادی ماشینها معرفی گردیده و نهایتاً مقایسه انواع روشهای به خدمت گیری ماشین‌آلات (مانند خریداری، اجاره، اجاره به شرط تملیک و خرید اقساطی یا همراه با وام) به بحث گذاشته شده است.

۲-۲- تامین ماشین‌آلات از طریق خریداری و محاسبه مخارج ساعتی تملک و بهره‌برداری

خرید ماشین‌آلات دارای چندین مزیت به شرح زیر است:

۱. در صورتی که ماشین به اندازه کافی مورد استفاده قرار گیرد، در دراز مدت نسبت به اجاره اقتصادی تر خواهد بود.

۲. دسترسی به ماشین در هنگام نیاز، سریع تر و آسان تر است.
۳. به دلیل تملک، صاحب ماشین آلات، آنها را در وضعیت مکانیکی بهتری نگهداری می‌کند.
خرید ماشین آلات معایب زیر را نیز دارد:

 ۱. خرید ماشین ممکن است در مواردی گران تر از اجاره تمام شود.
 ۲. سرمایه هزینه شده برای خرید ماشین آلات می‌تواند در قسمتهای دیگری که دارای بازده بالاتری است صرف شود.
 ۳. تملک ماشین توسط پیمانکار ممکن است عامل بازدارنده‌ای برای بسنده کردن به استفاده از همان نوع ماشین آلات در مقایسه با دیگر ماشین آلات دارای بازده و قابلیت های بیشتر باشد.
 ۴. معمولاً تملک ماشین آلات باعث استفاده از آنها در مدتی بیشتر از عمر اقتصادیشان می‌شود که در نتیجه هزینه کار به طور صعودی افزایش می‌یابد.

اگر پیمانکار دارای نوعی ماشین باشد که بتواند در پروژه به کار گرفته شود، ولی راندمان آن از ماشین جدید که مورد نیاز پروژه است کمتر باشد، در این صورت اگر پیمانکار مطمئن باشد که می‌تواند ماشین جدید را در پروژه های آینده بکار گمارد، باید اقدام به خرید آن نماید. زیرا اگر چه هزینه‌ای بر او تحمیل می‌شود، ولی پول آنرا می‌تواند در دراز مدت مستهلک نموده و ضمناً در پروژه صرفه جویی بیشتری نماید.

هزینه های کارکرد ماشین آلات مسلماً در موفقیت کاری پیمانکاران نقش حیاتی دارد. هزینه ثابت مالکیت یک ماشین، چه دستگاه در حال کار باشد و چه بیکار، خرج انجام شده‌ای محسوب می‌شود و بنابراین کاهش زمان بیکاری به حداقل ممکن امری اساسی است. به همین جهت در صورت لزوم بهتر است که تجهیزات حتی با هزینه سر به سر (یعنی بدون سود) کار کنند، تا اینکه با بیکار ماندن دستگاه و افت قیمت آن و دیگر هزینه های ثابت دچار ضرر شود. البته باید توجه داشت از طرف دیگر کار کردن تجهیزات با کمتر از قیمت تمام شده روش خوبی نیست. لذا اهمیت محاسبه هزینه تملک ماشین به خوبی روشن می‌شود.

پیمانکار باید حتی‌الامکان سعی کند ماشین آلات استاندارد و متعارف را خریداری نماید. زیرا به جز مواردی که نوع ماشین آلات در قرارداد تعیین شده باشد، تحویل ماشین آلات استاندارد توسط کارخانجات سریعتر انجام می‌شود و همچنین امکان بکار گرفتن آنها در پروژه های مختلف بیشتر بوده و تهیه قطعات یدکی آنها راحتتر، سریعتر و ارزانتر است و در صورت عدم نیاز، بازار مناسب برای فروش آنها وجود دارد.

ماشین آلات ویژه ماشین‌آلاتی هستند که توسط کارخانجات برای یک پروژه خاص یا عملیات ویژه ساخته می‌شوند. به عنوان نمونه می‌توان به ماشین حفاری TBM یا بیل هیدرولیکی با ظرفیت بسیار زیاد که برای برداشتن مواد در معادن روباز به کار می‌رود، اشاره کرد. این دسته از ماشینها عموماً کاربرد خاص در یک پروژه داشته و برای همان پروژه ساخته می‌شوند. لذا امکان اجاره آنها ضعیف بوده و معمولاً از طریق خریداری به کار گرفته می‌شوند. در این ماشینها بررسی اقتصادی با توجه به کاربرد یکبار و هزینه سنگین خریداری از اهمیت به سزایی برخوردار است. لذا پیمانکاران باید با توجه به محاسبات دقیق انواع هزینه‌های تملک، اقدام به پیشنهاد قیمت کنند.

در این بخش به بررسی اقتصادی خریداری ماشین آلات شامل سرمایه، هزینه های ساعتی، استهلاک و عمر مفید ماشین آلات پرداخته می‌شود تا دستیابی به انتخابی صحیح در رابطه با خرید یا اجاره ماشین آلات مقدور گردد و همچنین هزینه معادل استفاده از هر دستگاه ماشین قابل حصول گردد.

۲-۱- هزینه‌های مالکیت و بهره برداری ماشین‌آلات

بهترین روش برای تخمین هزینه‌های مالکیت و بهره‌برداری توسط پیمانکار استفاده از اطلاعات دقیق ثبت شده از ماشین‌آلات قبلی است. اگرچه نمی‌توان اطمینان دقیق داشت که ماشین‌آلات مشابه دارای هزینه‌های مشابهی باشند، بخصوص اگر در کارهای مختلف و در زمانهای مختلف بکار برده شده باشند. با این همه اگر بانک اطلاعاتی جامع، کامل و دقیقی از تجارب در اختیار باشد، می‌توان با دقت خوبی به تخمین این هزینه‌ها اقدام کرد.

عوامل نحوه تحویل ماشین‌آلات به پیمانکار، دشواری کار، تعداد ساعات مورد بهره برداری در سال، عمر مفید سالیانه ماشین، میزان مهارت اپراتور هر ماشین، نگهداری مناسب و تعمیر به موقع آن و وضعیت بازار فروش ماشین‌آلات دست دوم در زمان فروش آنها بر روی هزینه ماشین‌آلات تاثیر دارد. اما در حالت کلی هنگامی که ماشین‌آلات برای اولین بار خریداری می‌شوند، ارزیابی هزینه‌های آنها شامل دو بخش کلی تملک و بهره‌برداری می‌باشد.

- هزینه‌های تملک

هزینه استهلاک

استهلاک طبق تعریف عبارت است از کاهش ارزش ماشین‌آلات به دلیل استفاده در کارگاه و یا گذشت زمان از تاریخ تولید ماشین. پیمانکار باید به گونه‌ای برنامه ریزی کند که استهلاک ماشین‌آلات را در طول عمر مفیدشان جبران نماید. قیمت کل یک دستگاه ماشین شامل خرید، هزینه حمل و نقل آن و هزینه بارگیری و تخلیه می‌باشد. این ارزش کل از زمانی که ماشین تحویل گرفته شد به دلیل استفاده و گذشت زمان کاهش می‌یابد. این کاهش نشان دهنده بازگشت هزینه است و در حسابهای دفتری و حسابداری بعنوان یک هزینه وارد شده و از دارایی‌های مشمول مالیات کاسته می‌شود.

تخمین نرخ استهلاک ماشین به منظور تعیین هزینه ساعتی کارکرد آن ضروری است. بنابراین با استفاده از فرمولهای مختلف باید میزان استهلاک ساعتی محاسبه شود. به صورت خیلی ساده می‌توان استهلاک ساعتی را هزینه ماشین بخش بر ساعات کاری مورد انتظار آن در نظر گرفت.

ارزش اسقاطی

ارزش اسقاطی ارزش یک ماشین پس از استهلاک کامل آن است که می‌تواند قیمت فروش واقعی یا ارزش آن برای پیمانکار هنگام اتمام عمر اقتصادی آن باشد. ارزش اسقاطی بسته به نوع ماشین، تنوع کاربرد آن در کارگاه‌های مختلف، وضعیت ظاهری و فنی ماشین و وضعیت بازار فروش ماشین‌آلات دست دوم و غیره متفاوت است که معمولاً بین ۵ تا ۲۰ درصد ارزش اولیه ماشین در نظر گرفته می‌شود.

روشهای محاسبه استهلاک

روشهای مختلفی برای محاسبه هزینه استهلاک به کار می‌رود که متداولترین آنها عبارتند از :

۱. روش خط مستقیم
۲. روش دو برابر کردن
۳. روش تسهیم به نسبت معکوس
۴. روش وزارت امور اقتصادی و دارایی

(۱) روش خط مستقیم

در این روش برای محاسبه استهلاک فرض بر این است که ارزش ماشین آلات بطور یکنواخت از قیمت اولیه کاهش پیدا می کند. استهلاک ممکن است بر حسب کاهش ارزش خریداری در واحد زمان یا در واحد کار انجام شده محاسبه گردد. استهلاک بر حسب کاهش ارزش در واحد زمان از تقسیم قیمت اولیه ماشین منهای ارزش نهایی آن به عمر مفید ماشین بدست می آید. (در ماشین های چرخ لاستیکی قیمت لاستیک ها از قیمت اولیه ماشین کم می شود) محاسبه استهلاک در واحد کار از تقسیم قیمت اولیه ماشین منهای ارزش نهایی آن به واحد کار انجام شده در طول عمر مفید آن بدست می آید. این روش بیشتر برای ماشین آلاتی بکار می رود که عمرشان بر حسب میزان کارشان تعیین می گردد. نمونه ای از این نوع ماشین آلات عبارتند از: موتور پمپ، سنگ شکن، تسمه نقاله و ماشین حفاری سنگ.

$$\text{استهلاک سالانه} = \frac{\text{قیمت نهایی} - (\text{قیمت لاستیک ها} - \text{قیمت اولیه})}{\text{عمر مفید ماشین (سال)}}$$

مثال:

قیمت اولیه ماشین (بدون لاستیک): ۱۰,۰۰۰ واحد

قیمت نهایی تخمینی: ۱۰۰۰ واحد

عمر مفید ماشین ۵ سال

$$\text{استهلاک سالانه} = \frac{۱۰,۰۰۰ - ۱,۰۰۰}{۵} = ۱۸۰۰$$

خلاصه محاسبات در جدول ۱-۲ آورده شده است.

جدول ۱-۲

سال	استهلاک	ارزش دفتری
۰	۰	۱۰,۰۰۰
۱	۱۸۰۰	۸۲۰۰
۲	۱۸۰۰	۶۴۰۰
۳	۱۸۰۰	۴۶۰۰
۴	۱۸۰۰	۲۸۰۰
۵	۱۸۰۰	۱۰۰۰

(۲) روش دو برابر کردن

با استفاده از این روش می توان ارزش استهلاک را با ارزیابی عمر ماشین بر حسب سال بصورت میانگین درصدی از استهلاک سالانه حساب کرد. این درصد را باید دو برابر کرد و بر مبنای ۲۰۰ درصد حساب نمود. ارزش استهلاک در هر سال به وسیله ضرب کردن درصد استهلاک در ارزش اولیه ماشین بدست می آید. هنگام محاسبه استهلاک اگر ارزش نهایی ماشین مطرح نباشد، در این

صورت ارزش استهلاک نباید از یک حد متعادل ارزش نهایی پایین تر رود. هنگامی که جمع ارزش استهلاک از قیمت اولیه کسر شود، حاصل را ارزش باقیمانده می‌نامند.

مثال:

قیمت کل اولیه ماشین	۸۰۰،۰۰۰ واحد
ارزش نهایی تخمینی	۸۰،۰۰۰ واحد
عمر مفید ماشین	۵ سال
میانگین نسبت استهلاک	۲۰٪ در سال
دو برابر نسبت استهلاک	۴۰٪ = ۲ * ۲۰
استهلاک سال اول	واحد ۳۲۰،۰۰۰ = ۸۰۰،۰۰۰ * ۴۰٪
ارزش باقیمانده	واحد ۴۸۰،۰۰۰ = ۸۰۰،۰۰۰ - ۳۲۰،۰۰۰
استهلاک سال دوم	واحد ۱۹۲،۰۰۰ = ۴۸۰،۰۰۰ * ۴۰٪

خلاصه محاسبات در جدول ۲-۲ نوشته شده است.

جدول ۲-۲- استهلاک سالیانه به روش دو برابر کردن

ارزش باقیمانده	ارزش	استهلاک سال مربوطه	درصد استهلاک	انتهای سال
۸۰۰،۰۰۰		۰	۰	۰
۴۸۰،۰۰۰		۳۲۰،۰۰۰	۴۰	۱
۲۸۸،۰۰۰		۱۹۲،۰۰۰	۴۰	۲
۱۷۲،۸۰۰		۱۱۵،۲۰۰	۴۰	۳
۱۰۳،۶۸۰		۶۹،۱۲۰	۴۰	۴
۶۲،۲۰۸		۴۱،۴۷۲	۴۰	۵

همان طور که در جدول ۲-۲ دیده می‌شود، ارزش باقیمانده در انتهای سال پنجم کمتر از ۸۰،۰۰۰ واحد شده است. در این صورت ارزش باقیمانده در انتهای سال پنجم ۸۰،۰۰۰ واحد و استهلاک سال پنجم نیز (واحد ۲۳۶۸۰ = ۸۰،۰۰۰ - ۱۰۳،۶۸۰) در نظر گرفته می‌شود.

روش تسهیم به نسبت معکوس (روش مجموع ارقام سالهای عمر ماشین)

در این روش ابتدا ارقامی که نمودار هر سال عمر ماشین می‌باشد، باید با هم جمع گردد. به عنوان مثال اگر عمر یک ماشین ۵ سال باشد مجموع ارقام آن برابر است با: $۱+۲+۳+۴+۵=۱۵$ عبارت دیگر برای محاسبه استهلاک در هر سال استهلاک کل در نسبت استهلاک ضرب می‌شود.

$$\text{استهلاک سال اول} = \frac{۵}{۱۵} (\text{ارزش نهایی} - \text{قیمت اولیه})$$

$$\text{استهلاک سال دوم} = \frac{۴}{۱۵} (\text{ارزش نهایی} - \text{قیمت اولیه})$$

مثال

قیمت کل	۸۰۰,۰۰۰ واحد
ارزش نهایی تخمینی	۸۰,۰۰۰ واحد
استهلاک کل	۷۲۰,۰۰۰ واحد
عمر مفید ماشین	۵ سال

جدول ۲-۳- استهلاک سالیانه به روش مجموع سالهای عمر ماشین

ارزش باقیمانده	استهلاک سالانه	کل استهلاک	نسبت استهلاک	انتهای سال
۵۶۰,۰۰۰	۲۴۰,۰۰۰	۷۲۰,۰۰۰	$\frac{۵}{۱۵}$	۱
۳۶۸,۰۰۰	۱۹۲,۰۰۰	۷۲۰,۰۰۰	$\frac{۴}{۱۵}$	۲
۲۲۴,۰۰۰	۱۴۴,۰۰۰	۷۲۰,۰۰۰	$\frac{۳}{۱۵}$	۳
۱۲۸,۰۰۰	۹۶,۰۰۰	۷۲۰,۰۰۰	$\frac{۲}{۱۵}$	۴
۸۰,۰۰۰	۴۸,۰۰۰	۷۲۰,۰۰۰	$\frac{۱}{۱۵}$	۵

$$\text{ارزش باقیمانده} = \frac{\text{قیمت کل} - \text{ارزش نهایی تخمینی}}{\text{عمر مفید}} \times \text{سال} = \frac{\text{مبلغ قابل استهلاک}}{\text{مجموع ارقام}}$$

۴) روش وزارت امور اقتصاد و دارایی

در ایران چنانکه در قانون مالیات های مستقیم مصوب ۱۳۸۰ آمده است، استهلاک ماشین آلات در زمره مخارج قابل قبول مالیاتی به حساب آمده و بر اساس جداول استهلاک اعلام شده از سوی سازمان امور مالیاتی کشور به شرح زیر است:

جدول ۲-۴- استهلاک سالیانه با روش اعلام شده از سوی سازمان امور مالیاتی کشور

نرخ استهلاک نزولی	ماشین آلات
۲۵٪	۱- انواع خودرو بنزینی و دیزلی- کامیون و کامیونت دیزلی تا چهار سیلندر و تا ۵ تن ظرفیت
۳۰٪	۲- کامیون و انواع بارکش دیزلی از ۴ سیلندر به بالا و تا ۱۰ تن ظرفیت
۳۵٪	۳- کامیون، بارکش، تریلر و دامپتراک با هر ظرفیت
۲۵٪	۴- کلیه ماشین آلات ساختمانی، مکانیکی، هیدرولیکی، الکتریکی، چرخ لاستیکی و یا زنجیری، همچنین جرافتالها و ماشین های حفاری کارخانه های تهیه بتون و سنگ شکن ها و ماشینهای پایه کوبی، دمپر، الواتور، میکسر، ویبراتور و مشابه ماشین آلات راه سازی (انواع بلدوزرها، گریدرها، غلطکها، فنیشر، ماشین های تهیه اسفالت، فیلرها و شمع کوب و کمپکتورها و غیره) ماشین آلات مربوط به فرودگاه مانند ماشین های علامت گذار، برفروب و خشک کن و یدک کش و پله های متحرک و کمپرسورها و جکهای هیدرولیکی و غیره ماشین آلات مربوط به بندرسازی (ماشین های بتون ریزی)

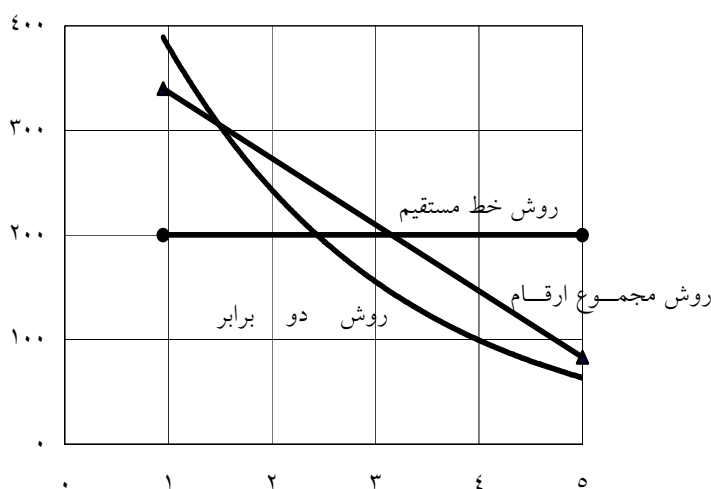
	زیرآب، لوازم غواصی، اسکله های موقت و غیره ماشین آلات مربوط به سدسازی (ماشین حفر کانال و ...) کلیه ماشین‌آلات شهرسازی و ابنیه سازی (اعم از ماشین بلوک زنی، لوله گذار، ماشین های جذب کننده، جوش زنی لوله ها و سایر ماشین های مشابه)
--	---

نحوه محاسبه استهلاک به این ترتیب است که در هر سال، بصورت نزولی درصدی از قیمت تمام شده ابتدای سال (ارزش دفتری)، به عنوان استهلاک آن سال محاسبه می‌شود. به این ترتیب چنانکه مشاهده می‌شود ارزش ماشین هیچ گاه به صفر نمی‌رسد.

انتخاب روش مناسب برای محاسبه استهلاک

روش دو برابر کردن و مجموع ارقام سالهای عمر برای مستهلک نمودن بیشتر ارزش ماشین در سالهای اولیه عمر آن طراحی شده‌اند و استهلاک سریع را که مورد دلخواه صنعت است فراهم می‌نمایند و به شکل دقیقتری با کاهش عملی ارزش تجهیزات در بازارهای متعارف منطبق می‌باشند.

این روش‌ها در تبدیل به پایه ساعتی برای استفاده در محاسبات هزینه ساعتی کار، مشکلاتی ایجاد می‌کنند. استفاده از نرخ استهلاک متفاوت برای هر سال مشکل خواهد بود. اگر چندین ماشین با یک مدل یکسان ولی سالهای کارکرد متفاوت وجود داشته باشد، تلاش در جهت در نظر گرفتن هزینه های متفاوت برای آنها پیچیده بوده و قیمت گذاری دقیق کار را ناممکن خواهد ساخت. پیمانکار صرفنظر از روش مورد استفاده برای حسابداری خود، در محاسبه مالیات بر درآمد و گزارشات سالیانه باید از روش خط مستقیم استفاده نماید. در شکل (۱-۲) منحنی های مربوط به این سه نوع برآورد استهلاک نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌گردد، در روشهای دوم و سوم از دیاد قیمت‌ها در سالهای اول در مقایسه با سالهای بعد کاملاً رعایت شده است. از آنجا که در سالهای اول عمر، مخارج نگهداری بسیار کمتر و در عوض مقدار استهلاک به مراتب بیشتر است، لذا می‌توان استهلاک را خطی فرض نموده و مخارج را نیز در تمام عمر مفید یکسان در نظر گرفت. ارقام حاصله در این روش متوسط قابل قبول هستند که کار محاسبات را آسان می‌کنند.



شکل ۱-۲. مقایسه سه روش محاسبه استهلاک

محاسبه استهلاک بر اساس ساعات کارکرد

پیمانکار می‌تواند استهلاک را بر اساس مجموع ساعات استفاده از ماشین، بدون توجه به زمان تقویمی محاسبه نماید. مثلاً اگر بولدوزری را به قیمت ۲۵ میلیون خریداری می‌کند و انتظار کارکرد ۵ هزار ساعت را برای آن دارد، بایستی برای هر ساعت کار، ۵

هزار تومان بعنوان استهلاک در نظر بگیرد و در پایان سال ساعات کارکرد سالیانه را در ۵ هزار تومان ضرب نماید تا استهلاک سالانه بدست آید. اگر به میزان ۶۰۰ ساعت کار کرده باشد استهلاک سالانه معادل ۳ میلیون و در صورتی که ۱۴۰۰ ساعت کار کرده باشد معادل ۷ میلیون خواهد شد.

محاسبه استهلاک بر اساس واحد کارکرد

در نظر بگیرید که برای یک معدن، یک بیل مکانیکی به قیمت ۱۰۰ میلیون تومان خریداری شده است و انتظار کارکرد ۲۰ هزار ساعت و بارگیری ۴ میلیون تن سنگ معدن در طول عمر مفید، برای آن متصور است. اگر شرایط کار مناسب باشد، این ماشین ۶ هزار ساعت در سال کار خواهد کرد. ولی ممکن است شرایطی پیش بیاید که ماشین کاملاً بیکار بماند. در چنین شرایطی محاسبه استهلاک بر اساس ساعات کارکرد مناسب نخواهد بود و بجای آن می‌توان هزینه ۱۰۰ میلیون تومانی بیل را به تناژ کارکرد مورد انتظار (۴ میلیون تن) تقسیم نموده رقم ۲۵ تومان برای هر تن را بعنوان استهلاک در نظر گرفت. بنابراین در هر سال این ماشین بر اساس تناژ بارگیری مستهلک خواهد شد. مواردی که باید در محاسبه استهلاک مدنظر قرار گیرند، شامل موارد زیر می‌باشند.

الف) لاستیک‌ها

معمولاً هزینه لاستیک را از قیمت خریداری ماشین کم می‌کنند و قیمت لاستیک را به عنوان هزینه‌های اجرایی در نظر می‌گیرند. مزایا و معایب این روش در بخش‌های بعدی بررسی خواهد شد.

ب) هزینه‌های تعمیرات به عنوان سرمایه گذاری

تعمیرات تا جایی که منجر به افزایش غیر متعارف قیمت ماشین نشود، به عنوان هزینه‌های تملک در نظر گرفته می‌شود. اما تعمیرات اساسی مخصوصاً اگر در پایان دوره استهلاک انجام گیرد، به عنوان سرمایه گذاری کلی محسوب می‌شود که باید در چند سال مستهلک شود. به عنوان مثال اگر پیمانکاری برای تعمیر ماشین ۱۰۰ میلیون تومانی خود ۴۰ میلیون تومان در سال آخر جدول زمانی استهلاک ماشین، هزینه کند، مجبور خواهد شد این مخارج را به عنوان سرمایه گذاری اولیه فهرست نموده و جدول زمانی جدیدی برای استهلاک ماشین ترتیب دهد.

ج) تجهیزات کاملاً مستهلک شده

اگر ماشینی بیش از مدت استهلاک آن نگهداری شود، استهلاک بیشتری برای آن پرداخت نمی‌گردد. به عبارت دیگر ارزش دفتری آن در حد قیمت اسقاطی باقی می‌ماند. در این حال هزینه ساعتی آن باید ثابت باقی بماند. بخشی از درآمدهای ناشی از ماشین که قبلاً برای استهلاک کنار گذاشته شده بود، به عنوان سود نصیب پیمانکار می‌شود و به پیمانکار کمک می‌کند تا به کار خود ادامه دهد. با این حال این سود اضافی، به دلیل هزینه‌های تعمیرات و مدت زمان بیکاری زیاد، به راحتی می‌تواند تبدیل به ضرر و زیان گردد. به همین دلیل استفاده از ماشین آلات قدیمی مگر زمانی که در وضعیت خوبی نگهداری شده باشند کار صحیحی نیست.

د) استفاده کوتاه مدت

بسیاری از پیمانکاران ماشین آلات را برای کارهای خاص خریداری می‌کنند و پس از اتمام، آنها را می‌فروشند. برخی دیگر از پیمانکاران قوانین داخلی خاصی برای تعویض ماشین آلات پس از مدت زمان مشخصی از کارکرد دارند تا به این طریق وقفه‌های کاری را کاهش داده و اعتبار بکارگیری ماشین آلات به روز خود را حفظ نمایند. بنابراین تخمین هزینه‌ها بر اساس اختلاف قیمت خرید و فروش انجام می‌پذیرد.

بعنوان مثال پیمانکاری، تعدادی اسکریپر به قیمت هر کدام ۳۰۰ میلیون تومان برای استفاده در دو فصل، هر یک در حدود ۱۲۰۰ ساعت کار، خریداری می‌کند و پس از انقضای این مدت آنها را به قیمت یک سوم می‌فروشد. هر یک از این ماشین‌ها ۲۰۰ میلیون تومان مستهلک خواهد شد و بنابراین هزینه ساعتی استهلاک ۸۳۳۰۰ تومان می‌باشد که با استهلاک ساعتی ۳۰۰۰۰ تومان برای ۱۰ هزار ساعت کار بدون در نظر گرفتن ارزش اسقاطی، قابل مقایسه است. بنابراین هنگامی که مدت زمان کار بسیار کوتاه است اجاره ماشین‌آلات بسیار ارزانتر و نیز دارای ریسک کمتری خواهد بود.

توضیحات بیشتر در مورد این موضوع در بخش ۲-۵ از همین فصل ارائه شده است.

ه) افزایش قیمت‌ها

پیمانکاران نیز مانند سایر مصرف کنندگان ماشین‌آلات مدرن با مسائل مربوط به افزایش قیمت‌ها دست به گریبان هستند. قیمت هر ماشین در طول عمر خود در معرض افزایش است. بنابراین هزینه تعویض بسیار بیشتر از هزینه اولیه ماشین می‌باشد. این افزایش قیمت ماشین هم از افزایش عمومی قیمت‌ها و هم پیشرفت تجهیزات ناشی می‌شود.

گاهی خرید ماشین‌آلات جایگزین با استفاده از حساب استهلاک ماشین‌آلات موجود مقدور نیست. بنابراین باید به سایر منابع مالی و یا وام‌های دریافتی اتکا نمود. این مشکل را تا حدودی می‌توان اینگونه حل نمود که برای ماشین‌هیچگونه ارزش اسقاطی قائل نشویم. از آنجا که تقریباً همیشه مقداری ارزش اسقاطی وجود دارد (حتی اگر آهن قراضه باشد) این ارزش به اضافه هزینه مستهلک شده می‌تواند هزینه جایگزینی با همان اندازه و نوع را تامین نماید.

مانع دیگری که در مقابل تورم قیمت‌ها می‌توان ایجاد نمود، افزایش میزان استهلاک بسته به افزایش قیمت ماشین است. بگونه‌ای که این هزینه مشابه هزینه استهلاک ماشین جدید باشد. به عنوان مثال بولدزر ۲۰ میلیون تومانی با استهلاک ساعتی ۴ هزار تومان در ۵ هزار ساعت را در نظر بگیرید. اگر پس از دو سال قیمت ماشین‌آلات مشابه به ۲۳ میلیون تومان از طرف کارخانه افزایش یابد، استهلاک در مقایسه با ماشین قدیمی به ۴۶۰۰ تومان افزایش می‌یابد. این افزایش فقط برای ثبت داخلی است و نمی‌توان در گزارشات مالیات بر درآمد مورد استفاده قرار داد. مزیت اینکار این است که تا حدودی به تعویض ماشین‌های افزایش یافته کمک می‌نماید. در نظر گرفتن هزینه‌های استهلاک جدید برای پوشش افزایش هزینه‌های تعویض ماشین‌آلات مخصوصاً برای شرکت‌هایی که عمده درآمد خود را از محل اجاره ماشین‌آلات به دست می‌آورند بسیار مهم است.

- هزینه سرمایه

هزینه سرمایه‌ای، هزینه‌ای است که در اثر مالکیت ماشین‌آلات صرفنظر از مقدار بهره‌گیری از آنها به وجود می‌آید. این هزینه که بنام هزینه سرمایه‌گذاری نامیده می‌شود شامل سود سرمایه، مالیات‌های مربوط به ماشین‌آلات، بیمه و اجاره پارکینگ (در ایام بیکاری) می‌باشد. نسبت ارقام فوق بین صاحبان مختلف و در محل‌های مختلف متفاوت است.

روش‌های متعددی برای تعیین سود متعلقه به پولی که بر روی ماشین‌آلات سرمایه‌گذاری می‌شود موجود است. اگر خریدار حتی کل قیمت ماشین‌آلات را نقداً پرداخت نماید، باید سود پول را در سرمایه‌گذاری او منظور کرد. زیرا اگر خریدار پول خود را در کار دیگری و یا بانک سرمایه‌گذاری می‌کرد سود مربوطه به او تعلق می‌گرفت.

بعضی از خریداران اگر قیمت کل ماشین‌آلات را نقداً پرداخت کرده باشند، یک نرخ سود برای خود در نظر می‌گیرند. هر سالی که ماشین‌مورد استفاده قرار می‌گیرد صاحب سرمایه باید هزینه استهلاک را از درآمد خود کسر نماید. بنابراین سرمایه‌گذاری اولیه به

میزان پولی که بدین نحو برای مالک ذخیره می‌شود کاهش پیدا می‌کند. در هر صورت سود باید بر مبنای ارزش واقعی ماشین‌آلات به جای قیمت اولیه تعیین گردد. سود متوسط سالانه باید بر اساس ارزش متوسط ماشین‌آلات در طول عمر مفیدشان محاسبه گردد. این مقدار را ممکن است به وسیله جدولی تعیین کرد که مقدارش برای ابتدای هر سال که ماشین‌آلات مورد استفاده قرار می‌گیرد، محاسبه شده است.

حداقل سه روش برای در نظر گرفتن سرمایه وجود دارد که عبارتند از: سرمایه‌گذاری اولیه، سرمایه‌گذاری کلی و سرمایه متوسط سالیانه.

(۱) سرمایه‌گذاری اولیه

عبارتست از هزینه خالص و کل وام‌هایی که پیمانکار برای خرید ماشین‌آلات متقبل می‌شود. این سرمایه‌گذاری موجب بالاتر رفتن ترازنامه‌ها و افزوده شدن بر فهرست دارایی‌های ماشین‌آلات در ازای کاهش نقدینگی و یا افزایش دیون می‌شود.

(۲) سرمایه‌گذاری کلی

هر چند ممکن است این مطلب منطقی به نظر نرسد، اما مرسوم است که سود پولی که بر روی ماشین‌آلات سرمایه‌گذاری می‌شود، به عنوان سرمایه به حساب بیاید. همچنین مالیات و بیمه خسارات نیز بر پایه ارزش ماشین‌آلات محاسبه می‌شود. از آنجا که بخش معینی از سرمایه‌گذاری اولیه در هزینه‌های استهلاک مد نظر قرار می‌گیرند، سرمایه‌ای که این محاسبات بر روی آنها انجام می‌شود در گام‌های سالیانه بایست کاهش داده شود. برای سال اول قیمت خرید مینا قرار می‌گیرد و برای سال دوم قیمت خرید منهای استهلاک یک سال مینا خواهد بود و به همین ترتیب الی آخر.

برای سهولت در محاسبات چنین هزینه‌هایی در طول عمر ماشین، استفاده از مفهوم سرمایه‌گذاری کلی مناسب‌تر است. این سرمایه با افزودن ارزش دارایی‌های ماشین‌آلات برای هر سال از عمر ماشین بدست می‌آید. همچنین سرمایه‌گذاری کلی را با فرمول زیر می‌توان محاسبه نمود.

$$TI = (1 + DP_{yrs}) \times \frac{C}{r}$$

TI سرمایه‌گذاری کلی

DP_{yrs} تعداد سالهای استهلاک

C هزینه اولیه

(۳) سرمایه متوسط سالیانه

این عنوان رقم واقعی تری را بدست می‌دهد. چرا که هزینه خرید را در طول سالهای عمر ماشین میانگین‌گیری می‌نماید. این رقم از تقسیم سرمایه کلی بر تعداد سالها بدست می‌آید. همچنین فرمول زیر را برای سرمایه متوسط سالیانه می‌توان بکار گرفت.

$$AAI = \frac{C \times (DP_{yrs} + 1)}{2 \times DP_{yrs}}$$

نرخ سود

نرخ های سود می‌تواند بسته به نوع وام و درجه ریسک متغیر باشد. مقادیر صحیح نرخ سود را می‌توان با تقسیم سود پرداختی به مقدار وام و سپس ضرب در نسبت یک بر تعداد سالها (یا ۱۲ بر تعداد ماهها) بدست آورد. به عنوان مثال اگر ۱۰۰ هزار تومان برای دو سال قرض گرفته شود و ۵ هزار تومان بعنوان سود پرداخت شود داریم:

$$\text{نرخ سود} = \frac{۵}{۱۰۰} \times \frac{۱}{۲} = ۲/۵\%$$

و اگر مدت قرض ۴ ماه باشد در اینصورت:

$$\text{نرخ سود} = \frac{۵}{۱۰۰} \times \frac{۱۲}{۴} = ۱۵\%$$

برای هزینه های خرید ماشین آلات می‌توان سود منظور کرد، حتی اگر به صورت نقدی خریداری شده باشند. این سود از روی سرمایه گذاری متوسط سالیانه محاسبه می‌شود. البته اینکار با روشهای حسابداری چندان سازگار نیست و بنابراین می‌توان به اشکال دیگری با این قضیه برخورد نمود.

یک راه، واگذاری این سود بر عهده خود ماشین است. محول نمودن سود وام های خرید ماشین آلات بر خود ماشین ها دلیل منطقی دارد. هرچند محاسبه آن به صورت هزینه های بالاسری عمومی نیز منطقی به نظر می‌رسد. در نظر گرفتن این هزینه‌ها بعنوان مخارج ماشین باعث سادگی کار و تشخیص آسان منبع این هزینه ها می‌شود.

روش دوم، بدست آوردن هزینه سود ماشین های خرید نقدی، با همان نرخ سود یکسان با وام های اخذ شده برای اهداف کلی دیگر است. باید توجه شود که پولی که برای اهداف کلی وام گرفته می‌شود، یک آئتم کلی بالاسری است که مسئولیت آن بین قسمتهای مختلف تقسیم می‌شود. معمولاً ارزش ماشین آلات تحت مالکیت، بسیار بیشتر از میزان وامهای کلی است. مثلاً اگر برای موجودی ۱۰۰ میلیون تومانی ماشین آلات یک شرکت، بدلیل ۲۰ میلیون وام کلی اخذ شده ۸ درصد سود در نظر گرفته شود، مبلغ سود ۸ میلیون تومان خواهد شد که ۶/۴ میلیون تومان بیشتر از سودی واقعی پرداخته شده برای وام کلی (۲۰ میلیون با نرخ ۸ درصد) است.

روش سوم، یک نرخ سود- مثلاً در حدود نرخ سود حسابهای سپرده کوتاه مدت بانکی، مانند ۶ درصد- به هزینه های خرید ماشین آلات اختصاص داده شود، حتی اگر مالک ماشین آلات هیچ بهره وامی نیز پرداخت ننماید. ایده این است که پیمانکار می‌توانست نقدینگی خود را در صورت عدم خرید ماشین در جایی دیگر سرمایه گذاری کند، اما تنها سرمایه گذاری که پیمانکار می‌تواند انجام دهد و در ضمن پولش را در کار خود موجود نگه دارد، حسابهای سرمایه گذاری کوتاه مدت است که آن هم سود اندکی عاید پیمانکار می‌کند. این امکان نیز وجود دارد که سرمایه های خارج از شرکت کلاً یا به صورت جزئی از بین برود. ماشین آلات پیمانکار چیزی نیست که خود را با پرداخت سود تنظیم نماید، بلکه با کار و تولید، هزینه های خود را تامین می‌کند. پیمانکار نباید سود وام های کلی خود را متوجه ماشین آلات نماید، در دنیای کاری پر رقابت امروز چنین افزایش دلخواهی در هزینه ها ممکن است بمعنی از دست دادن کار باشد. البته از آنجا که منظور نمودن بهره امروزه امری متداول است، در مثال های این راهنما نیز گنجانده شده اند.

سود اقساطی

نرخ سود در قراردادهای خرید اقساطی با تقسیم سود کل بر دیون کل بدست می‌آید. دیون کل رقمی است که شبیه سرمایه کل می‌باشد. این رقم از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$TD = (I + 1) \times \frac{L}{24}$$

TD دیون کل

I اقساط ماهانه

L مقدار قرض شده

مقدار کل سود با جمع کردن تمام قسط‌ها با هم و یا مجموع حاصلضرب هر کدام از قسط‌ها در تعداد آنها و تفاضل آن از مقدار کل وام به دست می‌آید.

فرض کنید از ۱۶ میلیون تومان پول خرید یک ماشین، ۱۲ میلیون تومان آن مربوط به وامی با بازپرداخت ۳۶ ماهه باشد. برای بازپرداخت این وام باید ۳۵ قسط ۳۹۳,۳۳۰ تومانی و یک قسط ۳۹۳,۴۵۰ تومانی پرداخت شود. جمع این مبلغ ۱۴۱۶۰۰۰۰ تومان است. تفاضل این عدد با ۱۲ میلیون تومان وام مبلغ کل سود و برابر با ۲۱۶۰۰۰۰ تومان خواهد بود. در این حالت $I=۳۶$ و $L=۱۲۰۰۰۰۰۰$ و با استفاده از فرمول فوق دیون کل ۱۸/۵ میلیون تومان به دست می‌آید. با تقسیم ۲/۱۶ بر ۱۸/۵ به رقم ۰/۱۱۷ یا ۱۱/۷ درصد برای نرخ سود می‌رسیم.

برخی پیمانکاران علاقمندند که نرخ سود فاینانس را در هزینه کل خرید بدانند. اگر ماشین فوق دارای استهلاک ۵ سال باشد سرمایه کل آن ۴۸ میلیون خواهد بود که با تقسیم ۲/۱۶ بر آن به نرخ سود ۴/۵ درصد برای ماشین دست خواهیم یافت. درک نرخهای سود برای یک پیمانکار ارزشمند خواهد بود. با داشتن چنین درکی او قادر خواهد بود مقادیر کلانی را با تشخیص صحیح خطاها یا تقلب‌های صورت گرفته در حساب‌ها حفظ کند.

- مالیات دارایی

پیمانکار باید مالیات و عوارض مختلفی را پرداخت نماید. در این مبحث منظور مالیات‌های دارایی است که بر ارزش برآورد شده تجهیزات تعلق می‌گیرد. در برخی کشورها مالیات ماشین آلات مشابه دارایی‌های حقیقی محاسبه می‌شود. این مالیات از ۲ تا ۴/۵ درصد ارزش برآورد شده ماشین متغیر است. ارزش برآورد شده ماشین ممکن است از فهرست اموال مستهلک شده توسط پیمانکار پیروی کند، ولی روش کلی اینست که ارزش یک ماشین برای حداقل ۲۰ درصد هزینه آن تا زمانی که به نظر قابل کاربرد می‌رسد، برآورد گردد. در برخی کشورهای دیگر مانند ایران، تجهیزات ساختمانی مشمول مالیات دارایی‌های شرکت‌ها به شمار نمی‌آیند. اما چنانچه در طول سال شرکت مالک آنها با استفاده از آنها بتواند درآمدی کسب کند، درآمد حاصله مشمول مالیات خواهد بود. در این حالت مالیات بر درآمد پس از کسر مخارج و هزینه‌های قابل قبول و محاسبه سود ناخالص شرکت، محاسبه می‌شود. در محاسبه مخارج و هزینه‌های قابل قبول، استهلاک ماشین آلات جزو اقلام قابل قبول اداره مالیات به شمار می‌آید.

در ایران خریدار بابت خرید ماشین مالیات خرید و فروش می‌پردازد، ولی بابت استفاده از آن به عنوان ابزار و وسایل کار، مالیاتی نمی‌پردازد. بلکه مالیات بر درآمد شرکت در طول سال مالی محاسبه شده که مقدار آن ۲۵ درصد سود پس از کسر مخارج و هزینه‌ها می‌باشد.

- هزینه شماره گذاری

ماشین‌های راه‌سازی بایستی دارای پلاک باشند. هزینه پلاک برای ماشین‌های سبک نظیر سواری‌ها، وانت‌ها و جیب‌ها کم ولی برای کامیون‌های سنگین رقم‌های بزرگتری خواهد شد. در بسیاری کشورها هزینه پلاک بر اساس وزن یا ظرفیت ماشین به آن تعلق می‌گیرد. هزینه پلاک، یک هزینه بالاسری است که در برآورد هزینه کارکرد کامیون به هزینه‌های دیگر اضافه می‌شود. در ایران بدلیل اینکه طبق ضوابط راهنمایی و رانندگی تردد ماشین‌آلات سنگین در جاده‌ها و معابر کشور ممنوع می‌باشد، لذا به این دسته از ماشین‌ها اساساً پلاک راهنمایی و رانندگی تعلق نمی‌گیرد. این ماشین‌ها باید با استفاده از کفی و تریلرهای مخصوص در بین کارگاه‌ها انتقال داده شوند.

- بیمه

ماشین‌آلات راه‌سازی معمولاً تحت عنوان بیمه کلی مسئولیت و خسارت پیمانکار قرار نمی‌گیرند و دارای بیمه‌های خاص با نرخ‌های بالاتر هستند. این مبلغ نیز یکی از مخارج مالکیت است که به هزینه خرید مربوط نمی‌شود. میزان این حق بیمه تحت تاثیر وزن، نوع و سابقه تصادفات و نیز مقدار کارکرد آن می‌باشد.

هزینه بیمه در برابر آتش‌سوزی، تصادفات، واژگونی و سرقت جز هزینه‌های مالکیت است که در ازای هر قطعه از ماشین به نسبت ارزش آن محاسبه می‌شود. برای پیمانکاران جزء با ماشین‌آلات کم این مقدار در حدود ۱ درصد از ارزش واقعی هر ماشین است. هر چه پروژه‌ها بزرگتر شوند این هزینه کاهش می‌یابد، که این موضوع بدلیل متوازن شدن موقعیت‌های پرخطر کاری با شرایط کاری ایمن‌تر در پروژه است. بالاترین نرخ برای پوشش بیمه ای حوادث ۱/۵ تا ۲ درصد است. این نرخ‌ها برای شرایط کاری پرخطر یا پیمانکارانی که در مدیریت، بی‌ملاحظه تشخیص داده شوند به کار برده می‌شوند. در ایران بیمه تحت عنوان ماشین‌آلات وجود ندارد، بلکه این بیمه تحت بیمه تجهیز کارگاه پوشش داده می‌شود.

- هزینه‌های انبار و نگهداری

بسیاری از پیمانکاران حداقل یک جایگاه در نزدیکی محل تعمیر خود برای تعدادی از قطعات یدکی و مصرفی دارند و بقیه موارد در محل دورتری نگهداری می‌شوند. معمولاً می‌توان این ماشین‌آلات را در نزدیکی محل کار نگه داشت تا به محل کار دیگر منتقل شوند.

تملک و نگهداری از محوطه انبار مشخصاً یکی از هزینه‌های بالاسری عمومی است. چرا که با خرید یا فروش ماشین‌آلات این امکان گسترش یا کاهش پیدا نمی‌کند. با این حال اگر پیمانکار بخواهد هزینه‌های انبار را برای هر یک از ماشین‌آلات جداگانه محاسبه نماید، می‌تواند با پیدا کردن هزینه سالیانه بازای هر متر مربع از محوطه انبار، سهم هر ماشین را به ازای مساحتی که اشغال می‌نماید بدست آورد. بعنوان مثال فرض کنید هزینه‌های سالیانه هر متر مربع از یک قطعه زمین که برای انباری استفاده می‌شود شامل هزینه بهره، مالیات، نگهداری و نگهداری برابر ۲۰۰ تومان محاسبه شده باشد. یک اسکرپور بزرگ با ابعاد ۴ متر در ۱۵ متر، فضای ۶۰ متر مربع اشغال می‌کند و با در نظر گرفتن ۴۰ متر مربع بعنوان فضای مانور نیاز به ۱۰۰ متر مربع خواهد داشت. به این ترتیب هزینه سالیانه انبار برای این اسکرپور ۲۰۰ * ۱۰۰ یا ۲۰ هزار تومان خواهد بود.

۲-۳- ساعات کارکرد ماشین‌آلات

استهلاک سالانه و سایر هزینه‌های مالکیت ماشین‌آلات به یک رقم ساعتی به عنوان مبنایی برای محاسبه زمان کارکرد ماشین‌آلات تبدیل می‌شوند. در نگاه اول این مساله ممکن است ساده به نظر برسد. فقط لازم است که هزینه‌های سالانه را بر کل ساعات کار سالیانه و یا کل کارکرد تقسیم نمود. به عنوان مثال ماشینی که هزینه‌های ثابت سالانه آن $\frac{3}{6}$ میلیون تومان است و ۱۲۰۰ ساعت کار کرده است، هزینه ثابت ۳ هزار تومان در ساعت را خواهد داشت یا اگر هزینه کل آن در طول عمر مفیدش ۱۸ میلیون و کل ساعات کارکرد آن ۶ هزار ساعت باشد، این رقم باز هم ۳ هزار تومان خواهد بود. اما تعیین ساعات کارکرد یک ماشین کار مشکلی است، چرا که تحت تاثیر فاکتورهای متغیری قرار می‌گیرد. در اینجا بحث را به مسائل پیمانکارانی که تنها یک شیفت کار می‌کنند و در معرض تاخیر ناشی از شرایط جوی، بدست آوردن کار جدید و در حال کار نگه داشتن ماشین‌آلات می‌باشند، محدود خواهیم نمود. همچنین به طور عمده به ماشین‌آلات ردیف اول پیمانکار که در بیشتر اوقات مشغول کار می‌باشند پرداخته خواهد شد.

حداکثر به کارگیری. توصیه سازندگان ماشین‌آلات ۲ هزار ساعت کار سالیانه و ۵ سال عمر مفید می‌باشد. اما بیشتر کارهای ساختمانی در روزهای کاری ۸ ساعته و هفته‌های کاری ۵ روزه انجام می‌شود. به این ترتیب حداکثر کار صورت گرفته در سال حدود ۲۰۴۰ ساعت می‌باشد.

شرایط بد جوی

آب و هوا اغلب ساخت و سازهای سنگین را دشوار و گاهی ناممکن می‌سازد. حداکثر ساعات کاری تحت تاثیر شرایط محل کار قرار دارد. کار در زمینهای سنگی، شنی یا جاده‌های ترابری مسطح تحت شرایط بد جوی می‌تواند ادامه پیدا کند. در حالی که همین شرایط، کار را در زمینهای دارای خاک کشاورزی و رسی یا لجنی غیر ممکن می‌نماید. محدودیت زمانی می‌تواند کار در شرایط بسیار نامساعد را توجیه نماید. فقط به این امید که مقداری پیشرفت در کار حاصل شود. نوع ماشین نیز بر زمان از دست رفته در شرایط جوی نامساعد موثر است. یک ماشین خاکبرداری که در حال کندن خاک مرطوب است، ممکن است توسط بارش متوقف نشود، مگر اینکه سیلاب ایجاد شود. با این وجود ماشین‌آلات چرخ زنجیری در زمینهای باتلاقی به راحتی به حرکت ادامه می‌دهند. وسایل نقلیه نیمه پر می‌توانند به حرکت ادامه دهند. در حالی که ماشین‌های پر، در گل فرو می‌روند. در صورت فقدان اطلاعاتی که خلاف این را ثابت کند، برآورد کننده باید اجازه کاهش ۲۰ درصدی ساعات کار سالیانه را بخاطر شرایط جوی صادر کند. در ایران آماری برای این موضوع وجود ندارد، لذا از همین درصد متداول و مرسوم جهانی استفاده می‌شود.

زمان بیکاری

ماشین‌آلات فقط زمانی می‌توانند کار کنند که کاری وجود داشته باشد. یعنی نه تنها کار در حالت کلی بلکه برای ماشین خاص مورد نظر نیز بایست کار وجود داشته باشد.

برخی پیمانکاران برای پیدا کردن کار در تمام سال یا در تمام فصل‌های کاری دچار مشکلاتی می‌شوند و برخی نیز دوره‌های طولانی کار نامناسب یا بیکاری را سپری می‌نمایند. تفاوت‌ها مربوط به فعالیت‌های ساختمانی در آن ناحیه، تخصص‌های پیمانکار و تقاضا برای این تخصص‌ها و تا حدودی شانس پیمانکار در مناقصه و فروش خدمات می‌باشد. حتی زمانی که پیمانکار کاری در دست

داشته باشد، ممکن است این کار برای تمامی ماشین‌های او فراهم نباشد. حتی ممکن است ماشین‌آلات خود را بیکار رها کند و با ماشین‌آلات اجاره‌ای که در فیلد کاری متداول او نیستند کار کند. به عنوان میانگین کلی یک پیمانکار توانا می‌تواند امیدوار باشد که ماشین‌آلات رده اول او ۸۰ درصد مدت زمانی که آب و هوا اجازه می‌دهد در حال کار باشند.

اوقاتی که نمی‌توان از ماشین استفاده کرد

حتی زمانی که آب و هوا خوب و کار فراهم است، یک ماشین ممکن است به دلیل نیاز به تعمیر، یا کمبود مصالح، اعتصاب یا مسائل دیگر قادر به کار نباشد. بیشتر این زمان تعطیلی بعنوان زمان کاری در نظر گرفته خواهد شد (اگر ماشین اجاره‌ای باشد، بایستی اجاره پرداخت شود)، اما پیمانکار باید زمان از دست رفته را در محاسبه کاری که از ماشین بدست می‌آورد، مورد ملاحظه قرار دهد. چنین تعطیلی‌هایی علاوه بر تاخیر کوتاهی است که با در نظر گرفتن ساعات کاری ۴۵ یا ۵۰ دقیقه‌ای به حساب آورده می‌شوند و در بخش بعدی شرح داده خواهد شد.

خلاصه ساعت کاری

قاعده سرانگشتی برای ساعات کاری ماشین‌آلات سنگین اینست که ۲ هزار ساعت کار تک شیفتی در نظر گرفته شود، ۲۰ درصد بخاطر بدی آب و هوا از آن کم شود و دوباره ۲۰ درصد بدلیل کمبود کار و ۲۰ درصد نیز برای زمان از دست رفته در کار کم می‌شود که در نهایت زمان خالص ۱۰۲۴ یا بعبارتی ۱۰۰۰ ساعت باقی می‌ماند. این قاعده به سه بیست مشهور است. مانند سایر قواعد سرانگشتی این قاعده نیز ممکن است دقیق نباشد، بنابراین بهتر است پیمانکاران بر مبنای اطلاعات و مستندات مربوط به کارهای قبلی خود نسبت به اصلاح این عدد اقدام نمایند. اما قبل از اینکه برآورد کننده آن را رد کند باید شرایط خود را به دقت مطالعه نماید تا ببیند که آیا واقعاً شرایط بهتری موجود هست یا کاملاً نامطلوب می‌باشند.

این قاعده در مورد معادن و جاهایی که ممکن است کار سه شیفته با هفت روز کاری در هفته صورت بگیرد و بالای ۸۶۰۰ ساعت کار ماشین‌آلات برنامه ریزی شده باشد، بکار برده نمی‌شود.

زمان کارکرد

زمان را می‌توان به صورت تقسیمات ساعت و تقویم یا بر پایه ساعات کاری که نسبتی از این ترکیبات می‌باشد بیان نمود.

ساعات موثر

یک ساعت کاری می‌تواند ۶۰ دقیقه متداول یا به صورت یک ساعت موثر شامل ۵۰ دقیقه یا کمتر تعبیر شود. این تعریف خاص از ساعت امکان ملاحظه زمانهای تلف شده در کار را می‌دهد. به عنوان مثال ماشینی که قادر به حرکت دادن ۲ متر مکعب خاک در دقیقه می‌باشد، دارای خروجی ۱۲۰ متر مکعب در ساعت خواهد بود. اما نمی‌توان از هیچ ماشینی انتظار داشت که در شرایط ثابت کار کند. چرا که وقفه‌هایی برای انجام تنظیمات و تعمیرات جزئی، تغییر موقعیت، مواجهه با موانع کندن خاک و غیره پیش می‌آید. به عنوان مثال تولید واقعی ماشین که در ساعات کاری یک هفته متوسط گرفته می‌شود شاید ۹۰ متر مکعب باشد که ۷۵ درصد خروجی حداکثر آن است و کارائی ۷۵ درصد نامیده می‌شود. به این معنی که ماشین با ظرفیت ۳ ساعت از ۴ ساعت کار می‌کند. متداول است که این کاهش در ظرفیت به جای کاهش درصد تولید با کاهش تعداد دقیق در یک ساعت کاری بیان شود. در این مثال ساعت کاری $45 = 60 \times 0.75$ دقیقه خواهد بود. در محاسبات آنالیز، راندمان را ۷۰٪ منظور می‌نمایند. بنابراین یک ساعت ۴۲ دقیقه‌ای بسیار متداول است.

روز و هفته کاری

یک روز کاری شامل تمامی ساعات کار در طول یک شبانه روز است که معمولاً ۸ ساعت می‌باشد. اما می‌تواند ۸/۵ یا ۱۰ ساعت نیز در اوقات فشار کاری باشد. یک هفته کاری در صنعت ساخت ۶ روز است و برای روزهای بیشتر اضافه کار تعلق می‌گیرد. در ایران بر اساس قانون کار مبنای کارکرد هفتگی برای پرسنل در استخدام باید ۴۴ ساعت باشد. البته این عدد می‌تواند به صورت ۲۲ روز کار و ۸ روز استراحت نیز در ماه توزیع گردد.

سال کاری

سال کاری می‌تواند مشابه سال تقویمی یا سال مالی باشد که از زمانی مناسب آغاز می‌شود. یک سال کاری ۸ ماهه به این معنی است که کار در طول ۴ ماه زمستان عملی تشخیص داده نشده است.

زمان کار

زمانی که از آغاز تا پایان کار به طول می‌انجامد، به زمان کار موسوم است. زمان تکمیل کار در قرارداد ذکر می‌شود و می‌تواند دارای جریمه دیرکرد باشد. این زمان برحسب ساعت، روز، هفته یا سال سنجیده می‌شود. تعداد روزهای کاری باید از تعداد روزهای تقویمی تمیز داده شود.

زمان کار، کنترل خوبی بر میزان پیشرفت پروژه فراهم می‌کند. نمودارهای انجام کار در برابر درصد زمان مصرف شده، نشان دهنده پیشرفت کار بر طبق برنامه زمان بندی شده می‌باشد.

اجاره ماشین‌آلات

انواع مختلفی از اجاره ماشین‌آلات وجود دارند. نوع خاصی از قراردادهای اجاره که در اینجا بررسی می‌شود، اجاره خصوصی است به گونه ای که ماشینی تحت مالکیت یک پیمانکار، توزیع کننده یا موسسه اجاره ماشین‌آلات قرار دارد، به پیمانکاری که در مدت زمان انجام پرداخت، مثل ماشین‌آلات خود از آن استفاده می‌کند، اجاره داده می‌شود.

پیمانکاری که ماشین‌آلات خود را از کاری به کار دیگر منتقل می‌نماید و مراقبت کافی را به عمل می‌آورد، هزینه‌های عملیاتی کمتری در مقایسه با اجاره ماشین‌آلات خواهد داشت. اما برای کارهای کوتاه مدت که پس از اتمام کار استفاده قابل توجهی از ماشین‌آلات صورت نمی‌گیرد، اجاره ارزاتر است. پیمانکارانی که در نقاط مختلف کشور کار می‌کنند، در عوض تملک و انتقال ماشین‌آلات خود از نقطه‌ای به نقطه دیگر ترجیح می‌دهند آنها را اجاره نمایند.

در ایران نحوه اجاره ماشین‌آلات به این ترتیب است که اجاره دهندگان بخش خصوصی طی قرارداد اجاره‌ای که با پیمانکاران اصلی منعقد می‌کنند، تمام هزینه های جانبی ماشین‌آلات نظیر دستمزد راننده، تعمیرات، مالیات و بیمه را متقبل شده و تنها تهیه و تامین سوخت و روغن بر عهده پیمانکار می‌باشد. معمولاً قراردادهای اجاره بصورت ماهانه و بر اساس ساعت کارکرد مشخص بسته می‌شود برخی ماشین‌آلات پرکاربرد نظیر ماشین‌آلات راهسازی بر اساس ساعت کارکرد ۲۵۰ تا ۳۰۰ ساعت در ماه و برخی ماشین‌آلات با کارکرد کم تر مانند پمپ بتن بصورت مقطوع ماهانه اجاره داده می‌شوند. بنابراین در قراردادهای متداول اجاره در ایران صرفاً پرداخت اجاره ساعتی و هزینه سوخت و روغن بر عهده پیمانکاران می‌باشد. البته در برخی قراردادهای اجاره تا حداقل ساعت کارکرد ماهانه توافق شده و مازاد آن بصورت ساعتی محاسبه می‌گردد.

۲-۴- هزینه‌های بهره برداری ماشین‌آلات

مخارج بهره برداری از تجهیزات و ماشین‌آلات در بیشتر مواقع شامل موارد زیر خواهد بود:

سوخت: هزینه سوخت و جابجایی آن

روغنکاری: هزینه روغن، گریس، تجهیزات روغنکاری و کارگر

نگهداری و تعمیر: قطعات، پشتیبانی، تجهیزات کارگاه و نیروی انسانی

نیروی کار: اپراتور ماشین، کارگر تعویض روغن، کمک کار و ناظرین

- سوخت

هزینه سوخت با قدرت، نوع و شرایط موتور، نوع و شرایط تجهیزات و نوع کار و درجه سوخت فرق می‌کند. مصرف سوخت در ارتباط با اسب بخار و بار حمل شده بعداً شرح داده خواهد شد. هزینه‌های سوخت بسته به قیمت نفت خام، فاصله از منبع، مقادیر تحویل شده، تقاضای فصلی و مالیات اعمالی متفاوت است. مقادیر تحویلی می‌تواند بسیار مهم باشد. هرچه مقادیر تحویلی بیشتر باشد قطعاً پول کمتری برای سوخت پرداخت خواهد شد. در ایران رسم بر این است که در کارگاه‌های بزرگ پیمانکار پمپ بنزین احداث می‌کند و شرکت نفت نیز در مقابل نسبت به برقراری سهمیه و تحویل آن در کارگاه اقدام می‌کند که قیمت آن کمی بیشتر از قیمت مصوب است. در غیر این صورت پیمانکار خود موظف به خرید سوخت و انتقال آن به کارگاه با تانکر است. البته در هزینه سوخت باید هزینه انتقال آن به جبهه‌های کاری با تانکرهای کوچک (وانت بار) را نیز در نظر گرفت.

- روغنکاری

هزینه‌های روغنکاری شامل قیمت روغن، هزینه مالکیت و بهره برداری از تجهیزات پخش کننده و هزینه نیروی کار می‌باشد.

- روغن

سازندگان تجهیزات توصیه می‌کنند که روغن موتور در فواصل زمانی منظم که می‌تواند از ۷۵ تا ۲۰۰ ساعت تغییر نماید، تعویض گردد. این فواصل زمانی را می‌توان در شرایط دشوار محیطی مانند گرد و خاک یا دمای زیاد کاهش داد. ظرفیت مخازن روغن بطور گسترده‌ای بسته به طرح و اندازه موتورها تغییر می‌نماید. در حالی که مصرف روغن در موتورهای جدید ناچیز است، در موتورهایی که رینگ پیستون دچار سایش جدی شده یا نشست روغن وجود دارد مصرف روغن تا یک بیستم مصرف سوخت بالا می‌رود. با این حال در کارهایی که به طور مناسبی اداره می‌شوند مصرف روغن از یک پنجاهم مصرف سوخت فراتر نخواهد رفت. تعویض روغن در پایین بسیار حائز اهمیت است. هرگونه نشستی روغن باعث ورود گرد و خاک به داخل موتور می‌شود و لذا باید در اولین فرصت تعمیر شود. مصرف گریس در ماشین‌آلات بسیار متفاوت است. بعنوان مثال تراکتور ۲۰ تنی مدل قدیم در هر ۵ ساعت ممکن است ۲ کیلوگرم گریس مصرف نماید. در حالی که ماشین مشابه با آب بندی مناسب تنها در هر هزار ساعت نیازمند تعویض گریس می‌باشند.

قاعده سرانگشتی

عموماً هزینه روغن و گریس یک سوم هزینه بنزین یا یک چهارم هزینه گازوئیل مصرفی است. مساله مهم در برآورد این هزینه‌ها این است که یک سیستم مناسب انتخاب و دنبال شود. پیمانکاری که در هر زمان از یک روش استفاده می‌کند قادر نخواهد بود

بین کارهای متفاوت و نیز بین سالهای مختلف مقایسه انجام دهد. همیشه باید در ذهن داشت که بیشترین هزینه ناشی از روغنکاری، توقف هایی است که به واسطه روغنکاری نامناسب ایجاد می شود.

– هزینه های نگهداری و تعمیرات

بین نگهداری و تعمیرات هیچ مرز تعریف شده ای وجود ندارد. متداول این است که نگهداری شامل آیتم هایی نظیر تمیز کردن، بازدید، تنظیم، جایگزینی روئین قطعات و جوشکاری های موردی است، در حالی که تعمیرات شامل تنظیم و جایگزینی قطعات شکسته یا فرسوده می باشد. روغنکاری معمولاً یک آیتم نگهداری محسوب می شود و در مواردی اساسی ترین و مهمترین آیتم نگهداری نیز می باشد.

بسیاری از پیمانکاران و شرکت های اجاره ماشین آلات تعمیرات را به دو طبقه کلی تعمیرات اصلی و تعمیرات جزئی تقسیم بندی می نمایند. طبقه اول به تعمیرات کارگاهی و طبقه دوم به تعمیرات سرپایی یا میدانی موسوم است. در قراردادهای اجاره ای معمولاً تعمیرات کارگاهی توسط مالک انجام می شود و سایر تعمیرات توسط پیمانکار صورت می گیرد. تعمیرات کلی شامل بازرسی دقیق و بازسازی دوباره کلیه قطعات مورد نیاز یک ماشین می شود.

هرگونه طبقه بندی که بکار برده شود، مهمترین مساله برای موفقیت یک پیمانکار نگهداری دقیق و تعمیرات بی درنگ است که باعث حفظ دارایی و تجهیزات پیمانکار می شود.

اگر پیمانکار اطلاعات ثبت شده از تعمیرات ماشین آلات داشته باشد می تواند برای برآورد مخارج آتی از آن استفاده نماید. اما اگر این اطلاعات وجود نداشته باشد یا زمانی که تجهیزات جدیدی وارد کار می شوند، این کار باید با استفاده از اطلاعات ثبت شده و ایده های دیگران انجام شود. البته این اطلاعات باید برای مطابقت با شرایط جدید اصلاح گردند. بسیاری از سازندگان برای هزینه های تعمیر غیر از لاستیک، ۶۰ تا ۱۰۰ درصد هزینه استهلاک را در طول عمر ماشین پیشنهاد می نمایند. البته فاکتورهای زیادی در این حوزه وجود دارند که موارد ثبت شده تجربی می تواند هرگونه تخمینی را پشتیبانی کند. هزینه ها تحت تاثیر کیفیت ماشین، در دسترس بودن قطعات آن، استانداردهای روغنکاری، مهارت مکانیک ها، شرایط کاری، ساعات و سالهای استفاده و کیفیت نظارت و اجرا می باشند.

هزینه انتهای دوره

هزینه های تعمیرات با افزایش عمر ماشین آلات افزوده می شود. مطلوب است که نرخ افزایش عملی در انتهای دوره عمر محتمل آن محاسبه شود تا تعیین گردد که آیا ادامه استفاده از ماشین اقتصادی است یا خیر. هزینه متوسط تعمیرات را می توان با بکار بردن یکی از فاکتورهای زیر به هزینه انتهای تبدیل نمود.

جدول ۲-۵. فاکتورهای تبدیل به هزینه انتهای

فاکتور	ساعات استفاده	فاکتور	ساعات استفاده
۱/۸	۸۰۰۰	۱	۲۰۰۰
۱/۸	۹۰۰۰	۱/۳	۳۰۰۰
۱/۸	۱۰،۰۰۰	۱/۵	۴۰۰۰
۱/۹	۱۲۰۰۰	۱/۶	۵۰۰۰
۱/۹	۱۵۰۰۰	۱/۷	۶۰۰۰
۱/۹	۲۰،۰۰۰	۱/۷	۷۰۰۰

لاستیک‌ها

لاستیکها بخش مهمی از هزینه های قطعات مصرفی را به خود اختصاص می‌دهند و دارای ویژگی‌هایی هستند که گنجاندن آنها را در محاسبات دیگر هزینه، مشکل می‌نماید.

بررسی غیر سرمایه‌ای لاستیک‌ها

روش استاندارد این است که هزینه لاستیک‌ها را قبل از محاسبات استهلاک از قیمت ماشین نو کم می‌کنند. دلیل اصلی برای این کار بدست آوردن سریعترین استهلاک ممکن است. دلیل این کار این است که لاستیک‌ها جزء فیزیکی ماشین نیستند و با سرعت بسیار بیشتری فرسوده می‌شوند. یک ماشین ممکن است قبل از اینکه کاملاً فرسوده شود، چندین بار لاستیک عوض کند. اگر لاستیک‌های اولیه جزء سرمایه محسوب شود، مالک ماشین علیرغم تعویض آنها همچنان هزینه‌های استهلاک آنها را کم نکرده است و در حالی که هزینه جایگزینی آنها را پرداخته هنوز نتوانسته است کاهش مالیاتی را بر روی قیمت اولیه آنها انجام دهد.

دلیل دیگر برای جدا کردن حساب لاستیک‌ها از ماشین حامل آنها فرسایش آنها با سرعت‌های مختلف و تاثیر پذیری آنها از شرایط متفاوت می‌باشد. در حالی که تاثیر خاکهای سنگ و شنی و خاکهای رسی بر روی قطعات مکانیکی ماشین چندان زیاد نیست، این شرایط بر روی فرسایش لاستیک‌ها تاثیر بسیاری دارد. سرمای شدید هزینه های تعمیر قطعات ماشین را افزایش می‌دهد، در حالی که ممکن است عمر لاستیک‌ها زیاد کند.

هزینه عملیاتی لاستیک‌ها

اصلی ترین هزینه اجرایی لاستیک جایگزینی آن است. هزینه واقعی تقسیم بر ساعات کار، هزینه ساعتی لاستیک را به دست می‌دهد. از آنجا که بسیاری لاستیک‌ها در اثر اتفاقات یا استفاده ناصحیح زودتر از موعد از رده خارج می‌شوند، باید عمر تعدادی لاستیک را میانگین گیری نمود تا رقم منصفانه‌ای برای عمر لاستیک بدست آید. تعمیرات و نگهداری لاستیک‌ها ۱۵ درصد هزینه تعویض آنها در نظر گرفته می‌شود.

- هزینه نیروی کار

علیرغم مکانیزه شدن کارها هزینه نیروی کار بخش مهمی از هزینه‌های کارهای ساختمانی سنگین می‌باشد. هزینه اپراتور اغلب از هزینه ماشین جدا می‌شود، چرا که از مکانی به مکان دیگر فرق می‌کند. اپراتور معمولاً بیشتر از تعداد ساعات کار، پول دریافت می‌کند. معمولاً حقوق اپراتور مطابق گزارش روزانه پرداخت می‌شود و بستگی به انجام کار یا بیکاری ندارد. در طول وقفه‌های کوتاه مدت میان کار نیز این پرداخت‌ها به اپراتور صورت می‌گیرد.

اگر پرداخت به اپراتور بر پایه دستمزدهای سالیانه صورت گیرد، باید برای بدست آوردن نرخ ساعتی دستمزد او به ساعات کارکرد ماشین تقسیم شود. برای پیدا کردن هزینه کلی نیروی کار باید مالیات و سایر اقلام بالاسری مانند بیمه نیز اضافه شود. هزینه‌هایی مانند بیمه بیکاری، مزایای جانبی، ذخیره بازنشستگی و مسافرت‌های خاص و پرداخت‌های زمان بیکاری نیز بایستی مدنظر قرار گیرد.

۲-۵- عمر اقتصادی ماشین‌آلات

صاحب ماشین‌آلات علاقمند به فراهم آوردن امکانات لازم جهت ایجاد کمترین هزینه برای هر واحد تولید است. برای انجام این موضوع مالک باید از برنامه تعویض ماشین‌آلات مطلع باشد. اگر مالک آنها را زودتر تعویض نماید، مقداری ضرر بی مورد در سرمایه را باید متحمل شود. در مقابل اگر زیاد صبر کند از زمان بهره‌برداری اقتصادی ماشین‌آلات خواهد گذشت. به منظور تعیین بهترین زمان اقتصادی جهت تعویض ماشین‌آلات باید بایگانی کاملی از هزینه نگهداری و هزینه تعمیرات و زمان خرابی هر ماشین ایجاد شود. مالک باید هزینه‌های مربوط به مالکیت و بهره برداری از ماشین‌آلات و تاثیر ادامه کار بر روی این مخارج را مورد بررسی قرار دهد. مخارجی که باید مورد بررسی قرار گیرد عبارتند از:

۱. استهلاک و تعویض ماشین‌آلات
۲. سرمایه گذاری
۳. نگهداری و تعمیر
۴. زمان بیکاری
۵. مطرودی (از کار افتادگی و اسقاطی)

هزینه استهلاک و تعویض

زمانیکه تعویض ماشین‌آلات مورد بررسی قرار می‌گیرد، دانستن ارزش نهایی ماشین و هزینه تعویض آن با ماشین مشابه لازم می‌باشد. به علت افزایش قیمت متوسط ماشین‌آلات حدود ۵ درصد در سالهای گذشته و احتمال ادامه آن در آینده، باید این افزایش در تجزیه و تحلیل استهلاک و تعویض در نظر گرفته شود. ارزش نهایی باید مقدار واقعی باشد که هنگام معامله برای تعویض ماشین‌آلات بتوان آنرا فروخت.

هزینه‌های سرمایه گذاری

برای بدست آوردن سرمایه گذاری یک نسبت درصد کلی که نماینده سرمایه گذاری مالیاتها و بیمه می‌باشد، در قیمت ماشین‌آلات ضرب می‌شود تا مخارج سالیانه برای ارقام فوق بدست آید.

هزینه‌های نگهداری و تعمیر

به علت تغییرات زیاد در هزینه نگهداری و تعمیرات که به وضعیت کاری ماشین‌آلات وابسته است، داشتن یک بایگانی دقیق برای این نوع هزینه‌ها بسیار مهم می‌باشد.

هزینه زمان بیکاری

زمان بیکاری عبارت از زمانی است که ماشین در اثر خرابی کار نمی‌کند، زمان بیکاری با سنوات خدمت ماشین رابطه مستقیم دارد. آمادگی عبارتست از زمانی که ماشین مشغول تولید واقعی است یا آماده برای تولید می‌باشد و بر حسب درصد بیان می‌شود. برای مثال اگر ماشینی ۵ درصد از زمان بیکار باشد، آمادگی کار آن ۹۵ درصد است.

نیروی تولید عبارت است از مقیاس اندازه گیری توانایی تولید ماشین‌آلات در وضعیت معمولی. اگر نیروی تولیدی ماشین در اثر استفاده از آن کاهش پیدا کند، تاثیر این کاهش باعث افزایش هزینه تولید و در نتیجه باعث افزایش هزینه ساعتی در صورت ادامه کار با ماشین می‌گردد.

هزینه مطرودی (از کارافتادگی و اسقاطی)

سابقه ماشین‌آلات ساختمانی نشان می‌دهد که پیشرفت‌های مستمر در جهت استفاده از ظرفیت تولید باعث کاهش هزینه تولید گردیده است. استفاده از این پیشرفت‌ها که فقط با تعویض ماشین‌آلات قدیمی با ماشین‌آلات جدید عاید می‌شود، باعث کاهش تمایل به ادامه مصرف ماشین‌آلات قدیمی گردیده است. برای مثال اگر یک ماشین جدید بتواند هزینه تولید را ده درصد کاهش دهد، وقتی که با هزینه تولید ماشین موجود مقایسه می‌گردد، ملاحظه می‌شود که ماشین موجود باید ضرری بارزش ده درصد را متحمل شود. این مبلغ بعنوان ضرر مطرود شدن تعریف می‌شود. کوتاهی در استفاده از مزیت تقلیل هزینه تولید در اثر استفاده از ماشین‌آلات جدید باعث افزایش غیر ضروری هزینه تولید برای صاحب ماشین‌آلات قدیمی می‌گردد.

مصرف سوخت

هنگامی یک موتور بنزینی تحت شرایط استاندارد بکار گرفته می‌شود، حدود ۰/۲۲۷ لیتر سوخت بازای هر اسب بخار ساعت قدرت انتقالی به چرخ‌ها مصرف می‌کند. در حالیکه موتور دیزل حدود ۰/۱۵ لیتر سوخت بازای هر اسب بخار ساعت قدرت انتقالی به چرخ‌ها مصرف می‌کند. اسب بخار ساعت واحد اندازه‌گیری کار انجام شده بوسیله موتور می‌باشد. برای تعیین کار انجام شده بوسیله موتور دانستن قدرت متوسط تولید شده و همچنین مدت اجرای کار بوسیله موتور لازم می‌باشد. موتورهایی که در کارهای ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند، به جز در یک زمان کوتاه بندرت با یک بازده ثابت از آنها بهره‌برداری می‌شود. از حداکثر قدرت موتور یک تراکتور ممکن است در زمانی از سیکل که جهت بارگیری اسکریپر بکار گرفته می‌شود و یا در شیب سربالایی حرکت می‌کند، استفاده گردد و در بقیه زمان سیکل کار نیاز به قدرت کامل ماشین بطور محسوسی کاهش پیدا کرده و نتیجتاً مصرف سوخت تقلیل می‌یابد. همچنین ماشین‌آلات ساختمانی بندرت تمام ۶۰ دقیقه را در ساعت کار می‌کنند.

مثال

یک بیل مکانیکی با موتور دیزل و میزان قدرت انتقالی به چرخ‌ها برابر ۱۶۰ اسب بخار، مورد بررسی قرار می‌گیرد. جهت بارگیری کامیون موتور ممکن است با حداکثر قدرت برای پر کردن بیل بکار گرفته شود و زمان لازم برای آن ۵ ثانیه از یک سیکل ۲۰ ثانیه‌ای می‌باشد. در ۱۵ ثانیه دیگر موتور ممکن است با کمتر از نصف قدرت حداکثر کار کند. همچنین بیل ممکن است بمدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه یا بیشتر در ساعت بیکار باشد و موتور فقط نیاز به تولید قدرت برای قسمت‌های داخلی خود داشته باشد.

فرضاً این بیل ۵۰ دقیقه در ساعت بکار گرفته شود، فاکتور بهره‌گیری آن برابر خواهد بود:

$$\text{فاکتور بهره‌گیری} = \left(\frac{۵۰}{۶۰}\right) \times ۱۰۰ = ۸۳/۳ \%$$

مقدار سوخت مصرفی در ساعت را بطور تقریب می‌توان بصورت زیر تعیین نمود:

اسب بخار ۱۶۰ = میزان قدرت انتقال یافته به چرخ‌ها

فاکتورهای موتور

$$\text{پر کردن بیل} = \frac{۵}{۲۰} \times ۱ = ۰/۲۵$$

$$\text{بقیه سیکل} = \frac{۱۵}{۲۰} \times ۰/۵ \times ۱ = ۰/۳۷۵$$

$$\text{کل فاکتور} = ۰/۶۲۵$$

$$\text{فاکتور زمان} = \frac{۵۰}{۶۰} = ۰/۸۳۳$$

$$\text{فاکتور بهره گیری} = ۰/۶۲۵ \times ۰/۸۳۳ = ۰/۵۲$$

$$\text{لیتر} = ۱۲/۵ = ۰/۵۲ \times ۱۶۰ \times ۰/۱۵$$

برای سایر فاکتورهای اجرائی مقدار سوخت مصرفی باید مشابه روش فوق ارزیابی شود.

توان موتور (اسب بخار) \times فاکتور مصرف سوخت = مصرف سوخت ماشین در ظرفیت کامل (گالن بر ساعت)

جدول (۶-۲) فاکتور مصرف سوخت برای شرایط کاری مختلف را برای چند نوع ماشین نشان می‌دهد:

جدول ۶-۲. فاکتور مصرف سوخت (بر حسب درصد)

نوع ماشین	کم	متوسط	زیاد
کلامشل و دراگلاین	۴۰	۵۰	۶۰
جراثقال	۳۰	۴۰	۵۰
گریدر	۴۵	۶۰	۸۵
لودر چرخ لاستیکی	۴۵	۶۰	۸۵
لودر چرخ رنجیری	۵۰	۷۵	۹۰
کامیون مخصوص خارج از جاده	۲۵	۳۵	۵۰
اسکریپر دارای بالابر	۵۰	۶۵	۸۰
اسکریپر دوتایی (تاندوم)	۴۵	۶۵	۸۰
بیل مکانیکی و بیل معکوس	۵۰	۶۰	۷۰
تراکتور چرخ رنجیری	۴۵	۶۰	۸۰
تراکتور چرخ لاستیکی	۵۰	۶۵	۸۵

به کمک جدول ۶-۲ می‌توانیم مصرف ساعتی سوخت را با ضرایب عملکرد متفاوت برای ماشین‌ها تخمین بزنیم. نظر به اینکه

ماشین آلات تحت شرایط گوناگونی کار می‌کنند، راهنمایی‌های کاربردی نیز در دستیابی به ضریب عملکرد کمک می‌کند.

برای تخمین هزینه ساعتی سوخت ضریب عملکرد مربوطه را که تحت شرایط کاری متفاوت فرق می‌کند، انتخاب کرده و از آنجا

مصرف ساعتی سوخت را بدست می‌آوریم که با ضرب در قیمت محل سوخت، هزینه ساعتی سوخت تعیین می‌شود.

جدول ۶-۷. مصرف سوخت برای دو نمونه از ماشینها

شرایط کاری						مدل
زیاد		متوسط		کم		
گالن US	لیتر	گالن US	لیتر	گالن US	لیتر	
۱۰-۱۳/۵	۳۸-۵۱	۷/۵-۱۰	۲۸-۳۸	۶-۷/۵	۲۳-۲۸	بولدوزر (۳۵۰hp) D ⁸ R
۸/۵-۱۰	۳۲-۳۸	۶-۷/۵	۲۳-۲۸	۴/۵-۵/۵	۱۷-۲۱	لودر ۹۶۶ کاترپیلار

مصرف روغن موتور :

مقدار روغن مصرفی بوسیله موتور با اندازه موتور، ظرفیت مخزن روغن، وضعیت رینگهای پیستون و تعداد ساعات بین تعویض

روغن متغیر است. برای کارهای خاک آلود تعویض روغن ممکن است هر ۵۰ ساعت مناسب باشد، ولی این یک وضعیت غیر معمول

است. مقدار روغن مصرفی بوسیله یک موتور در هر تعویض شامل روغن در هنگام تعویض به اضافه روغنی که بین دو تعویض در اثر کم کردن به آن اضافه می‌کنند، می‌باشد. فرمولی که می‌توان برای ارزیابی مقدار روغن لازم بکار برد عبارتست از:

$$q = \frac{hp \times 0.16 \times 0.0272 \times (kg / hp - hr)}{0.1887 (kg / Lit)} + \frac{c}{t}$$

q مقدار روغن مصرفی بر حسب لیتر در ساعت

hp میزان اسب بخار موتور

c ظرفیت مخزن روغن بر حسب لیتر

t تعداد ساعت بین دو تعویض

فرمول فوق بر اساس فاکتور بهره‌گیری ۶۰ درصد استوار است. همچنین فرض بر اینست که مقدار روغن مصرفی بر حسب میزان اسب بخار ساعت بین تعویض‌ها برابر با ۰/۰۰۲۲۷ لیتر باشد. جدول ۲-۸ روغن و گریس مصرفی برای دو نمونه از ماشینها را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۸. تخمین مصرف ساعتی روغن و گریس

مدل	روغن موتور		روغن گیربکس و دیفرانسیل		روغن ترمز و کلاچ		کنترل آب		دفعات تعویض روغن در ۲۰۰۰ ساعت	دفعات تعویض گریس در ۲۰۰۰ ساعت
	لیتر	گالن	لیتر	گالن	لیتر	گالن	لیتر	گالن		
بولدوز D8R	۰/۱۲۹	۰/۰۳۴	۰/۱۴۴	۰/۰۳۸	۰/۰۱۵	۰/۰۰۴	۰/۰۳۸	۰/۰۱	۱۳/۷	۵۸۰
لودر ۹۶۶	۰/۱۴۴	۰/۰۳	۰/۰۴۵	۰/۰۱۲	۰/۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۷	۰/۰۱۹	۱۳	۴۳۲

لاستیک

مخارج تعمیر و تعویض لاستیک یکی دیگر از اقلام مهم مخارج ماشین‌آلات می‌باشد و این قلم پس از مخارج تعمیر کلی ماشین‌آلات از سایر اقلام بیشتر است. این عامل هزینه را به سختی می‌توان تخمین زد زیرا عمر لاستیک به طور دقیق مشخص نیست. مهمترین و مطمئن‌ترین روش تخمین عمر لاستیک استفاده از تجارب قبلی دارنده ماشین‌آلات می‌باشد. در صورتیکه چنین آمار و تجاربی موجود نباشد می‌توان از جدول زیر به طور تقریبی این مدت زمان را تعیین نمود. قیمت لاستیک بر حسب ساعات کار تقسیم می‌شود تا مخارج ساعتی لاستیک بدست آید. مخارج تعمیرات لاستیک بر حسب درصدی از قیمت لاستیک بیان می‌شود. این مبلغ در صورت فقدان ارقام دقیق چیزی در حدود ۱۳ تا ۱۷ درصد قیمت لاستیک در نظر گرفته می‌شود. معمولاً عمر لاستیک کامیون‌ها بر حسب کیلومتر مطرح می‌شود. در این صورت عمر ساعتی لاستیک را می‌توان با در نظر گرفتن سرعت حداکثر ۱۶ کیلومتر بر ساعت بدست آورد. به عنوان مثال لاستیک گودیر مدل E-۴ دارای عمر ۵۶۵۰۰ کیلومتر است که عمر ساعتی آن برابر مقدار زیر بدست می‌آید.

$$\frac{56500}{16} = 3531 \text{ ساعت}$$

جدول ۲-۹. عمر لاستیک‌ها (ساعت)

شرایط کاری			نوع ماشین
نامناسب	متوسط	مناسب	
۱۳۰۰	۲۱۰۰	۳۲۰۰	بولدوزر و لودر
۱۹۰۰	۳۲۰۰	۵۰۰۰	گریدر موتوردار اسکرپور
۲۵۰۰	۳۳۰۰	۴۶۰۰	تک موتوری
۲۳۰۰	۳۰۰۰	۴۰۰۰	دو موتوری
۲۱۰۰	۲۷۰۰	۳۶۰۰	فشاری، کششی و بالابر
۱۱۰۰	۲۱۰۰	۳۵۰۰	کامیونها

قطعات یدکی

عاملی که در هنگام خرید ماشین‌آلات ساختمانی باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد، سهولت در امر تهیه قطعات یدکی آن ماشین می‌باشد. چون در دسترس بودن قطعات یدکی از مهمترین مزایای یک ماشین به شمار می‌آید. بطور کلی تمام قطعات ماشین‌آلات حتی در صورت مراقبت و نگهداری صحیح باز در معرض خرابی قرار می‌گیرند، مثلاً از بین رفتن یک قطعه اساسی در ماشینی مانند TBM باعث تاخیر در تحویل پروژه می‌شود. لذا پیمانکار باید قبل از خرید ماشین‌آلات بررسی نماید که قطعات یدکی آنها را از کجا و به چه طریق می‌تواند تهیه کند و در صورتیکه متوجه شد که قطعات یدکی را نمی‌توان به آسانی و به سرعت تهیه نمود، بهتر است که ماشین‌آلات دیگری را جایگزین کند که قطعات یدکی آن راحت تر و سریعتر بدست می‌آید.

نگهداری و تعمیرات

هزینه نگهداری و تعمیرات با نوع ماشین، نحوه بکارگیری و کیفیت نگهداری آنها متغیر است. مثلاً اگر یاتاقانی از یک موتور بطور مرتب گریسکاری و تنظیم شود، عمرش طولانی تر از یاتاقانی خواهد بود که مراحل فوق در مورد آن انجام نگرفته است. مخارج نگهداری و تعمیر ممکن است بصورت درصدی از استهلاک سالانه یا بصورت مستقل از استهلاک بیان گردد. به هرحال برای بهره برداری از ماشین‌آلات باید این نوع مخارج به حد کافی در نظر گرفته شود. مثلاً مخارج متوسط سالانه نگهداری و تعمیر یک بیل هیدرولیکی بین ۸۰ تا ۱۲۰ درصد استهلاک سالانه آن متغیر است، ولی ممکن است مخارج سالانه بعضی ماشین‌آلات دیگر مانند سنگ شکن بیشتر و مثلاً موتور الکتریکی کمتر از مقدار فوق باشد. سوابق تجربی ماشین‌آلات می‌تواند راهنمای خوبی برای ارزیابی این نوع مخارج باشد.

۲-۶- انواع روشهای محاسبه مخارج ساعتی مالکیت و بهره‌برداری از ماشین‌آلات

برای بدست آوردن مخارج ساعتی، کل مخارج ثابت سالانه که شامل مخارج مالکیت، استهلاک، نگهداری و تعمیر و هزینه سرمایه گذاری است، به دست آورده، سپس مجموع آنها بر تعداد ساعات بهره‌گیری از ماشین در سال تقسیم می‌گردد. دستورالعمل‌های مختلفی برای محاسبه هزینه ساعتی ماشین‌آلات وجود دارد که در اینجا به بررسی آنها پرداخته می‌شود.

- روش انجمن پیمانکاران آمریکا

این دستورالعمل در سال ۱۹۹۰ از سوی انجمن پیمانکاران آمریکا (AGC) تهیه و برای استفاده در اختیار پیمانکاران آن کشور قرار گرفته است. این دستورالعمل دارای مطالب گوناگون و مفصلی است که می‌تواند به عنوان راهنما به کار رود. برای محاسبه مخارج ساعتی ارقام متعددی باید محاسبه شود که در ادامه تشریح می‌شوند.

الف) هزینه استهلاک

استهلاک به کاهش ارزش تجهیزات بر اثر عمر ماشین، شرایط کاری و از کارافتادگی اطلاق می‌شود. استهلاک عاملی است که برای متعادل نمودن هزینه مالکیت در طول عمر اقتصادی یک ماشین لازم می‌باشد. به هزینه استهلاک در محاسبه مالیات تعلق نمی‌گیرد. هزینه استهلاک در تمامی مدتی که ماشین آلات در تملک شرکت قرار دارد محاسبه می‌شود، چه ماشین بطور مفید کار کند یا در حالت بیکاری باشد.

عمر اقتصادی به ساعت عبارت است از دوره‌ای که در طول آن هزینه‌های استهلاک پوشش داده می‌شود. برای ماشین آلات جدید این هزینه‌ها در طول عمر مفید توزیع می‌گردد. وقتی از ماشین آلات خریداری شده استفاده می‌شود بهتر است هزینه آن را تا عمر باقی مانده اقتصادی ماشین مستهلک نمود.

ب) هزینه‌های غیر مستقیم ناشی از مالکیت تجهیزات

هزینه‌های غیر مستقیم زیادی به مالکیت تجهیزات مربوط می‌شوند. این هزینه‌ها بایستی بوسیله نرخهای بهره‌برداری یا روشهای دیگر حسابداری پوشش داده شوند. هزینه‌های مالکیت مورد بررسی در این دستورالعمل هزینه‌های سرمایه می‌باشند. هزینه‌های انبار و تامین امنیت، بیمه‌های معمول، مالیات، هزینه‌های کسب مجوز هزینه‌های معاینه و نظارت بر تجهیزات، در نرخهای بهره‌برداری از پیش محاسبه شده گنجانده نشده‌اند. اما در جداول فاکتور هزینه می‌توان داده‌های مربوطه را پیدا نمود.

هزینه ای انبار و تامین امنیت شامل هزینه انبار و نگهداری از تجهیزات در دوره بیکاری ماشین آلات می‌باشد.

هزینه بیمه معمول در قبال حفاظت از ماشین آلات در برابر حوادثی چون سرقت، تصادفات و خرابکاری صرف می‌شود. این هزینه شامل حفاظت در برابر ریسکهای خاص مثل کارهایی که در نواحی خطرناک انجام می‌گیرد، نمی‌گردد.

مالیات‌ها شامل مالیات دارایی‌های خصوصی شرکت در صورتی است که این مالیات‌ها مستقیماً به تجهیزات بکار گرفته شده مربوط می‌شوند.

هزینه‌های اخذ مجوز برای استفاده از تجهیزات در صورت نیاز گنجانده می‌شوند.

مخارج بازرسی و نظارت بر تجهیزات شامل دستمزد ناظر و مکانیک باتجربه می‌باشد.

هزینه سرمایه تجهیزات (CFC) در این دستورالعمل گنجانده شده است. این هزینه با ضرب نرخ پول در ارزش متوسط تجهیزات و سرشکن نمودن آن در ساعات مصرف سالیانه ماشین بدست می‌آید.

$$\text{فاکتور هزینه سرمایه سالانه} = \frac{(N-1)(1+S) + 2}{2N} \times (\text{نرخ بهره پول})$$

$$\text{هزینه ساعتی سرمایه} = \frac{(\text{فاکتور هزینه سالانه}) \times (\text{هزینه مالکیت})}{\text{ساعات مصرف سالانه}}$$

عمر بهره برداری (سال): N

فاکتور ارزش اسقاطی: S

هزینه بیمه های خاص، بیمه مشمول مالیات، هزینه های اجرایی عمومی، هزینه های آموزش مکانیک و مالیات بر درآمد جز هزینه هایی هستند که در نرخهای قابل بازیافت گنجانده نشده‌اند. ولی به روشهای دیگر جبران می‌شوند.

ج) هزینه های تعمیر و نگهداری

۱) هزینه کارگر برای سوار کردن قطعات ماشین، هزینه تعمیر در محل و هزینه نگهداری شامل دستمزد و پرداخت های اضافی مکانیک می‌باشد. این تعمیرات شامل بازرسی‌های دوره‌ای تعویض قطعات اصلی و تنظیم یا تعویض قطعات فرعی می‌باشد.

۲) هزینه قطعات شامل آنهایی است که برای تعمیرات جزئی و کلی لازم می‌باشند.

۳) هزینه روکش کردن و جا انداختن لاستیک در طول عمر متوسط لاستیک اضافه می‌شود. همچنین تعمیرات سطح لاستیک و هزینه های وابسته به آن مانند وصله زدن، جا انداختن و بازکردن لاستیک، تمیز کاری، تنظیم باد لاستیک و بازرسی لاستیک از مواردی هستند که هزینه تعمیرات را به وجود می‌آورند.

۴) هزینه تعمیر چرخ زنجیری در هزینه های تعمیر و نگهداری گنجانده می‌شود. شرایط کاری بر عمر مفید چرخ زنجیرها اثر می‌گذارد. بنابراین برای کاربرد های پر مشقت تعدیل هزینه هم بر روی قطعات و هم بر روی کار پیشنهاد می‌شود.

د) هزینه های حرکت دادن و مستقر کردن تجهیزات

هزینه‌های انتقال تجهیزات از کارگاهی به کارگاه دیگر در این نرخها گنجانده نشده است. این هزینه‌ها شامل عوارض بزرگراه، عوارض گمرکی، کرایه کشتی، بارگیری و تخلیه از کشتی و هزینه اسمبل (مونتاز) کردن و بازکردن دوباره تجهیزات خواهد بود.

ه) هزینه سوخت و روغن

در این دستورالعمل هزینه سوخت بر اساس هزینه متوسط هر گالن و مصرف هر اسب بخار در شرایط کاری نرمال تخمین زده می‌شود. در حقیقت مصرف سوخت تحت تاثیر عوامل متغیر زیادی مانند زمین، سیکل بارگیری، قدرت موتور و کفایت متصدی قرار دارد.

هزینه روغن شامل هزینه مصرف روغن، تراوش روغن، نگهداری روغن و خنک کننده های روغن به علاوه فیلتر هوا و فیلتر روغن می‌باشد.

خ) سایر هزینه های بهره‌برداری از تجهیزات

قطعات و تجهیزاتی که برای تمامی ماشین ها و نه فقط یک ماشین خاص انبار می‌شوند. این اقلام شامل دندانهای جام، لبه های برنده، شیلنگ آب، کابل و غیره می‌شود. جبران این هزینه‌ها تحت عنوان کلی هزینه های نیروی کار صورت می‌گیرد.

سایر ملاحظات هزینه تجهیزات

مالیات سرمایه در این دستورالعمل مد نظر قرار نمی‌گیرد. در این دستورالعمل بهره متعلق به سرمایه در نظر گرفته نمی‌شود. در این دستورالعمل پیش بینی برای حوادث غیر مترقبه گنجانده نمی‌شود، هر چند باید پیمانکار برای حوادث غیر مترقبه نیز چاره اندیشی کند. جدول ۲-۱۰ به عنوان منبعی سریع جهت برآورد هزینه‌های تجهیزات می‌باشد. هزینه‌های قابل جبران مشخص گردیده و برای سایر هزینه ها روشهای جبران هزینه پیشنهاد شده است. کلیه هزینه های نیروی کار شامل مزایا می‌باشند.

جدول ۲-۱۰. هزینه تجهیزات

هزینه استهلاک	
هزینه های قابل جبران	استهلاک هزینه های ترابری
هزینه های غیر مستقیم مالکیت تجهیزات	
هزینه های قابل جبران	هزینه سرمایه تجهیزات
هزینه بالاسری کلی / پروژه یا هزینه اضافه شونده	هزینه های انبار هزینه های تامین امنیت هزینه بیمه (با ریسک نرمال) مالیات های محلی و ایالتی هزینه های اخذ مجوز هزینه های بازرسی و نظارت هزینه مکانیک
هزینه مستقیم	بیمه های خاص
بالاسری پروژه	هزینه قطعات موجود در انبار هزینه قطعات و تجهیزات کارگاه
بالاسری عمومی	هزینه های عمومی اجرایی هزینه های عمومی مدیریت تجهیزات هزینه های عمومی موجودی قطعات هزینه های ثبت هزینه های آموزش مکانیک مالیات دارایی
هزینه های تعمیر و نگهداری	
هزینه های قابل جبران	هزینه های نیروی کار برای تعمیرات اساسی هزینه قطعات تعمیری هزینه نیروی کار برای نگهداری و تعمیر جزئی هزینه قطعات تعمیری هزینه های تعویض و روکش نمودن لاستیک هزینه تعمیر چرخ زنجیری
رقم مجزا	هزینه سرویس اساسی تجهیزات در کارگاه هزینه سرویس تجهیزات در محل کار
بالا سری عمومی	هزینه ابزار و تجهیزات کارگاه
هزینه حمل و استقرار تجهیزات	
هزینه مستقیم	هزینه حمل به محل کار هزینه تخلیه نصب و مونتاژ هزینه حمل از محل کار هزینه حمل ویژه (شرایط اضطراری) عوارض بزرگراهی عوارض گمرکی

هزینه سوخت و سرویس روغنکاری	
هزینه های سوخت	هزینه های قابل جبران
هزینه روغن	
هزینه فیلتر	
هزینه بارکش سوخت	رقم مجزا
هزینه وسیله حمل روغن	
هزینه انبار سوخت و روغن	بالاسری پروژه
سایر هزینه های بهره برداری	
هزینه قطعات موجود قابل مصرف	هزینه های قابل جبران
هزینه تجهیزات موجود قابل صرف	
هزینه نیروی کار	
سایر ملاحظات هزینه تجهیزات	
مالیات بر سرمایه گذاری	گنجانده نشده
سود	
هزینه حوادث غیر مترقبه	

فرضیات و روش برآورد هزینه

الف. فاکتورهای هزینه ساعتی که در دستورالعمل جامعه پیمانکاران آمریکا منتشر شده است، بر پایه دو فرض زیر استوار است:

۱. فاکتورهای هزینه مرتبط با تجهیزات که قابل کاربرد در شرایط متوسط مکانیکی و شرایط کاری غیر سخت باشد توسعه داده می‌شود.

۲. وقتی این فاکتورها استفاده می‌شوند، هزینه‌های اضافی ساعتی برای تجهیزات در دراز مدت قابل پرداخت خواهد بود.

ب. فاکتورهای هزینه تحت تاثیر عوامل متغیر زیادی می‌باشند.

۱. ابداعات جدید در تکنولوژی ماشین‌آلات

۲. تغییر در تعداد و نوع پیمانکاران شرکت کننده در پروژه

ج. فاکتورهای هزینه در فرمول های جدول (۲-۱۰) استفاده می‌شوند. این فرمول ها روش محاسبه هزینه‌های مندرج در دستورالعمل جامعه پیمانکاران آمریکا را نشان می‌دهد. نتایج این برآوردها برای شرایط متوسط بکار برده می‌شود و برای شرایط کاری دشوار حتما باید تنظیم های لازم بر روی فاکتورها صورت گیرد. تعدیل یک فاکتور هزینه می‌تواند بر مقدار سایر فاکتورها تاثیر بگذارد، برای مثال تعدیل ساعات کارکرد سالیانه بر هزینه های مالیات، بیمه و هزینه سرمایه تاثیر می‌گذارد.

د. هزینه تجهیزات کارکرده

(۱) استهلاك

(۱-۱) اگر ماشینی بیش از عمر اقتصادی آن به کار برده شود، هزینه های استهلاك از فرمول جدول (۲-۱۰) محاسبه می‌شود.

(۲-۱) وقتی یک ماشین کارکرده در شرایط کاری خوب خریداری می‌شود، هزینه کسب ماشین، قیمت واقعی پرداخت شده برای خرید ماشین خواهد بود. عمر اقتصادی این ماشین را می‌توان متناسب با یک ماشین نو محاسبه نمود، برای مثال اگر قیمت خرید ماشین ۱۲۵ هزار واحد باشد و هزینه ماشین نو ۲۵۰ هزار واحد در این صورت عمر اقتصادی ماشین ۵۰ درصد ماشین نو خواهد بود.

۳-۱) وقتی یک ماشین کارکرده خریداری و تعمیر می‌شود، هزینه کسب ماشین برابر مجموع قیمت خرید و هزینه تعمیرات خواهد بود.

۲) هزینه‌های بهره‌برداری

۱-۲) برآورد هزینه‌های بهره‌برداری برای ماشین‌آلات کارکرده تقریباً غیر ممکن است. در صنعت ساخت این نتیجه بدست آمده که عموماً هزینه تعمیر ماشین‌آلات دست دوم بیشتر از ماشین‌آلات نو می‌باشد. به هر حال تعیین هزینه بهره‌برداری ماشین‌آلات دست دوم نیازمند ارزیابی مکرر از وضعیت ماشین است.

۲-۲) تجهیزات متوقف شده

۱-۲-۲) برای برآورد هزینه تعمیر و لاستیک ماشین‌آلات متوقف شده فرمول‌های جدول (۲-۱۰) باید اصلاح شود. برای تعدیل اثر افزایش قیمت قطعات تعویض شده و لاستیک‌ها، قیمت پایه ماشین در این فرمول‌ها بر اساس فاکتورهای تعدیل قیمت مندرج در ضمیمه اصلاح می‌گردد.

مثال: لودر چرخ لاستیکی در ۱۹۷۸ به قیمت اولیه ۷۰ هزار واحد خریداری شده است که شامل هزینه ساعتی و تعویض قطعات و لاستیک خواهد شد. بنابراین قیمت پایه آن باید توسط فاکتور تعدیل برای دوره چرخ لاستیکی ۱۹۷۸ افزایش یابد

قیمت پایه ماشین:	۷۰ هزار واحد
فاکتور اصلاحی:	$\times 1/752$
قیمت پایه اصلاح شده:	$\frac{70}{752}$ هزار واحد

۲-۲-۲) فاکتورهای تعدیل به کمک آنالیز نمایه‌های دولتی، نشریه‌های راهنمای صنعتی و لیست قیمت سازنده‌ها، تعیین می‌شوند.

هـ شرایط بهره‌برداری سخت

۱) از آنجا که همه فاکتورهای هزینه در این دستورالعمل مقادیر متوسط می‌باشند، لذا نمی‌توانند نماینده همه شرایط کاری باشند. بنابراین در تمام شرایط ممکن اعم از آب و هوا، عوارض زمین محل عملیات، شرایط محیطی، ساعات اضافه کاری و شرایط غیر معمول باید فاکتورهای هزینه ارزیابی شوند.
و. کار چند شیفتی

۱) در طول زمانی که کار به صورت چند شیفته انجام می‌گیرد، تنظیمات لازم بر روی مقادیر هزینه‌های ثابت سالیانه صورت می‌گیرد. جبران این هزینه‌ها معمولاً بر پایه استفاده تک شیفتی در طول یک سال صورت می‌گیرد. برای شیفت دوم و سوم پیشنهاد می‌شود که هزینه‌های ثابت در ۵۰ درصد قیمت‌ها لحاظ شود.

۲) هزینه‌های بهره‌برداری در شیفت دوم و سوم را می‌توان در قیمت کلی لیست شده برای یک شیفت منظور کرد. به هر حال ممکن است تنظیم هزینه‌های بهره‌برداری برای در نظر گرفتن اثر فرسودگی در شیفت‌های کاری متعدد لازم آید.
ز. هزینه‌های زمان بیکاری تجهیزات

۱) ماشین‌آلات متعلق به یک پروژه در زمان بیکاری خود هزینه‌هایی را به دنبال دارند. زمان بیکاری زمانی است که تجهیزات آماده بکار می‌باشند، ولی تا موعد مورد نیاز بکار گماشته نمی‌شوند.

۲) سه نوع زمان بیکاری می‌توان در نظر گرفت:

۱-۲) داوطلبانه : پیمانکار می‌تواند از یک ماشین بعنوان جایگزین برای سایر ماشین آلات مشابه در حال کار استفاده نماید. به منظور عدم ایجاد وقفه در روند کار از دستگاه جایگزین استفاده می‌شود.

۲-۲) اجباری : چنانچه پروژه به هر دلیلی به تعویق بیفتد یا کار برای مدتی تعطیل شود، دستگاه‌ها همچنان در سایت باقی می‌مانند، بدون اینکه کاری انجام دهند.

۳-۲) قانونی : به دستور دولتی یا تصمیم قضایی ممکن است پروژه به تعویق بیفتد، ولی ماشین آلات باید در سایت باقی بمانند. در هر موقعیت و شرایطی حتی هنگامی که از ماشین آلات استفاده نمی‌شود، هزینه‌ای که تجهیزات بوجود می‌آورند همچنان به قوت خود باقی است. در حالت بیکاری اجباری و قانونی صاحب تجهیزات یا کاربران آنها باید هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم مانند تاثیر دسترسی به ماشین‌آلات برای سایت‌های کاری دیگر، هزینه تامین امنیت، استخدام نگهبان و هزینه بالاسری تجهیزات ناشی از بیکاری آنها باید در نظر گرفته شود.

فرمول‌های محاسباتی مورد نیاز

الف . هزینه های مالکیت

$$\text{هزینه مالکیت} = (\text{قیمت ثبت شده ماشین}) \times (\text{فاکتور حمل و نقل} + \text{فاکتور تخفیف} - 1)$$

$$\text{استهلاک} = \frac{(\text{قیمت لاستیک}) - (\text{هزینه مالکیت}) (\text{ارزش اسقاطی} - 1)}{\text{عمر اقتصادی ماشین آلات (ساعت)}}$$

$$\text{هزینه سرمایه} = \frac{(\text{فاکتور هزینه سرمایه}) (\text{هزینه مالکیت})}{\text{کارکرد سالانه ماشین آلات (ساعت)}}$$

$$\text{بیمه، مالیات، انبار، اخذ مجوز و ...} = \frac{(\text{فاکتور هزینه بیمه مالیات و ...}) \times (\text{هزینه مالکیت})}{\text{کارکرد سالانه ماشین آلات (ساعت)}}$$

$$\text{ب. هزینه نیروی کار} = \frac{(\text{ساعات تعمیر سالانه}) (\text{نرخ دستمزد کارگر})}{\text{کارکرد سالانه ماشین آلات (ساعت)}}$$

ج . قطعات یدکی

$$\text{قطعات یدکی} = (\text{قیمت ثبت شده ماشین}) \times (\text{فاکتور سالانه قطعات})$$

د . تدارکات

$$\text{تدارکات} = (\text{هزینه ساعتی قطعات یدکی}) (\text{فاکتور تدارکات})$$

هـ . لاستیک

$$\text{لاستیک} = \frac{(\text{قیمت ثبت شده ماشین}) \times (\text{فاکتور لاستیک})}{\text{عمر لاستیک (ساعت)}}$$

و . هزینه سوخت

(قدرت اسب بخار ماشین) × (فاکتور سوخت) × (قیمت هر گالن سوخت)

ز. هزینه روغن

۱. برای تجهیزات با هزینه سوخت (هزینه سوخت ساعتی) (فاکتور روغن)

۲. برای تجهیزات بدون هزینه سوخت حجم روغن از جدول فاکتور هزینه محاسبه می‌شود.

ح. هزینه های مرکب

۱. هزینه ماهانه = (روغن + سوخت + استهلاک + هزینه سرمایه + هزینه کارگر + قطعات یدکی + تدارکات + هزینه لاستیک) × ۱۷۵

۲. با داشتن هزینه ماهانه هزینه هفتگی روزانه و ساعتی قابل محاسبه است. برای محاسبه هزینه هفتگی فرض می‌شود ۲ روز در

هفته تلف می‌گردد. بنابراین در یک ماه تقریباً ۴ هفته کار مفید صورت می‌گیرد. بنابراین $(۰/۲۵ = ۴ \text{ هفته} \div ۱ \text{ ماه})$. برای محاسبه

هزینه های روزانه فرض می‌شود ۴ ساعت در هفته هدر می‌رود و ۸ ساعت در روز کار انجام می‌گیرد $(۰/۲۲۲ = ۳۶ \text{ ساعت} \div ۸$

ساعت) و برای محاسبه هزینه‌های ساعتی فرض می‌شود ۱ ساعت در روز هدر می‌رود یعنی ۷ ساعت کار در روز

$(۰/۱۴۳ = ۷ \text{ ساعت} \div ۱ \text{ ساعت})$

۳. هزینه هفتگی = (هزینه ماهانه) × ۰/۲۵

۴. هزینه روزانه = (هزینه هفتگی) × ۰/۲۲۲

۵. هزینه ساعتی = (هزینه روزانه) × ۰/۱۴۳

۶. روش معمول برای تعیین هزینه های مرکب فوق استفاده از روش کمترین هزینه است. چنانچه مبنای زمان محاسبه هزینه‌ها

ماهانه باشد، هزینه ساعتی اضافی بر ۱۷۶ تقسیم می‌شود و چنانچه مبنا هزینه هفتگی باشد، هزینه ساعتی اضافی بر ۴۰ تقسیم

می‌شود.

۷. در جاهایی که شرایط اجازه کار در ۱۲ ماه از سال را می‌دهد، پیمانکار می‌تواند از نرخ ماهیانه برای توزیع یکنواخت ساعات

بهره برداری ماشین آلات در یک سال تقویمی استفاده نماید. در این صورت ۱۷۶ در فرمول هزینه ماهانه با ساعات متوسط کارکرد

ماهانه که از فرمول زیر بدست می‌آید، جایگزین خواهد شد.

$$\text{ساعات کارکرد متوسط ماهانه} = \frac{\text{ساعات کارکرد سالانه}}{۱۲}$$

جدول ۲-۱۱. ماتریس تنظیم فاکتورها (این ماتریس دید کلی نسبت به تاثیر متغیرهای کاربر بر روی هزینه های تجهیزات فراهم می کند.)

متغیرهای کاربر	استهلاک	مالیات بیمه	نیروی کار	قطعات یدکی	تدارکات	لاستیک	سوخت	روغن	ماهانه	هفتگی	روزانه	ساعتی
تجربه پیمانکار	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
فعالیت ساخت	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
کار سخت	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
اجاره از طرف ثالث	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
کار چند شیفته	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
قیمت ثبت شده ماشین	*	*				*						
ساعات عمر اقتصادی	*	*										
کارکرد ساعتی سالانه	*	*										
تخفیف	*	*										
فاکتور حمل و نقل	*	*										
فاکتور پاداش	*	*										
فاکتور مالیات بیمه و ...	*	*										
فاکتور هزینه سرمایه	*	*										
نرخ پول	*	*										
جبران بیکاری ماشین	*	*				*	*	*	*	*	*	*
ساعات تعمیر سالانه	*	*										
نرخ دستمزد مکانیک	*	*										
تجهیزات متوقف شده	*	*				*	*	*	*	*	*	*
فاکتور ساعتی قطعات یدکی	*	*										
فاکتور تدارکات برای قطعات	*	*				*						
فاکتور ارزش لاستیک	*	*				*						
عمر ساعتی لاستیک	*	*				*						
فاکتور سوخت	*	*				*	*	*	*	*	*	*
قیمت سوخت	*	*				*	*	*	*	*	*	*
تغییرات اسب بخار موتور	*	*				*	*	*	*	*	*	*
فاکتور روغن	*	*				*	*	*	*	*	*	*
قیمت روغن	*	*				*	*	*	*	*	*	*

مثال: هزینه‌های مالکیت و بهره برداری ساعتی را برای لودر کاتر پیلار مدل ۹۶۶ محاسبه کنید.

اطلاعات زیر برای این ماشین از راهنمای هزینه تجهیزات پیمانکاران بدست آمده است.

جدول ۲-۱۲. فاکتورهای هزینه برای لودر کاتر پیلار مدل ۹۶۶ (۲۱۶ اسب بخار)

فاکتور روغن	فاکتور سوخت (گالن بر اسب بخار بر ساعت)	عمر ساعتی لاستیک	فاکتور ارزش لاستیک	فاکتور تدارکات برای قطعات	فاکتور ساعتی قطعات یدکی	ساعات تعمیر سالانه	فاکتور O&M	فاکتور مالیات بیمه و ...	فاکتور اسقاطی	فاکتور حمل	فاکتور تخفیف	ساعات کار سالانه	ساعات عمر اقتصادی
۰/۱۸۸	۰/۰۳۶	۳۱۶۵	۰/۰۴۷	۰/۱۹۶	۰/۰۰۰۰۳	۲۴۰	۰/۰۵	۰/۰۴۳	۰/۰۲۱	۰/۰۲۴	۰/۱۶۵	۱۴۴۰	۹۸۱۰

نرخ بهره: ۸/۵ درصد

قیمت سوخت: ۰/۸۱ واحد برای هر گالن

دستمزد مکانیک: ۲۳/۳ واحد

هزینه پایه تقریبی: ۲۱۲۴۲۰ واحد

۱. هزینه های مالکیت

هزینه کسب ماشین $182468 = [212420 \times (1 - 0.165 + 0.024)]$

استهلاک: $\frac{182468 \times (1 - 0.021 - 0.047)}{9810} = 17/33$

هزینه سرمایه: $\frac{182468 \times 0.05}{1440} = 6/34$

هزینه های سوخت و تعمیرات:

هزینه نیروی کار: $\frac{240 \times 23/3}{1440} = 3/88$

هزینه قطعات: $212420 \times 0.00003 = 6/37$

هزینه تدارکات: $6/37 \times 0.196 = 1/25$

هزینه لاستیک: $\frac{212420 \times 0.047}{3165} = 3/15$

هزینه سوخت: $216 \times 0.036 \times 0.81 = 6/42$

هزینه روغن: $6/42 \times 0.188 = 1/21$

هزینه مرکب ماهانه: $176(17/33 + 6/34 + 3/88 + 6/37 + 1/25 + 3/15 + 6/42 + 1/21) = 8087/2$

$$\text{هزینه هفتگی} : 2021/8 = 8087/2 \times 0/25$$

$$\text{هزینه روزانه} : 448/8 = 2021/8 \times 0/222$$

$$\text{هزینه ساعتی} : 64/2 = 448/8 \times 0/143$$

جدول ۲-۱۳. هزینه های لودر کاتریپلار مدل ۹۶۶ (۲۱۶ اسب بخار)

هزینه‌های مرکب مالکیت و تعمیر				هزینه های ساعتی سوخت و تعمیرات						هزینه‌های مالکیت ساعتی		ساعات کار سالانه	ساعات عمر اقتصادی	هزینه پایه تقریبی
ساعتی	روزانه	هفتگی	ماهانه	روغن	سوخت	لاستیک	تدارکات	قطعات یدکی	نیروی کار	efc	استهلاک			
۶۴/۲	۳۳۸/۸	۲۰۲۱/۸	۸۰۸۷/۲	۱/۳۱	۶/۴۲	۳/۱۵	۱/۲۵	۶/۳۷	۳/۸۸	۶/۳۴	۱۷/۳۳	۱۴۴۰	۹۸۱۰	۲۱۴۲۰

۲-۷- دستورالعمل سازمان برنامه و بودجه

این دستورالعمل از سوی سازمان برنامه و بودجه (سابق) برای استفاده پیمانکاران به صورت نشریه منتشر شده است.

استهلاک ساعتی سرمایه برای دارندگان ماشین آلات

ماشینی که مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، به تدریج بازدهی کاریش کم می‌شود و این افت بازدهی وقتی به ۶۰ درصد بازدهی زمانی که نو بوده است برسد، ماشین عمر مفید خود را نموده و ادامه کار با آن غیر اقتصادی می‌شود. حداکثر افت قیمت چنین ماشینی با توجه به شرایط روز در ایران ۷۰ درصد قیمت خرید اولیه‌اش در هنگامی که نو بوده می‌باشد و همین مقدار نیز در محاسبات مربوطه تحت عنوان استهلاک در نظر گرفته می‌شود. علت عدم استهلاک کامل (۱۰۰ درصدی) ماشین به این دلیل است که در کشورهای تولید کننده ماشین آلات نسبت تعمیرات و تهیه قطعات یدکی به قیمت اولیه ماشین در مقایسه با چنین هزینه‌هایی در ایران به نحوی است که نمی‌توان ضوابط کشورهای تولید کننده را عیناً در ایران ملاک عمل قرار داد و به طور مثال در آمریکا وقتی یک بولدوزر ده هزار ساعت بطور متوسط کار کند، این ماشین صد درصد مستهلک شده است و بدنه ماشین دیگر هیچ ارزشی نخواهد داشت. در صورتیکه در ایران ماشین مستهلک شده معمولاً پس از انجام یک سری تعمیرات اساسی و تعویض قسمت های اصلی دوباره آماده کار و بهره‌برداری می‌شود و به همین دلیل اسکلت ماشین دارای ارزش است و این ارزش تقریباً به میزان ۳۰ درصد قیمت اولیه ماشین می‌باشد.

S عمر مفید ماشین بر حسب ساعت

B مبلغی که دارنده ماشین برای خرید نقدی آن پرداخته است (قیمت خرید نقدی)

C مبلغ حاصل از فروش ماشین مستهلک شده $= 0,3B$

استهلاک ساعتی سرمایه از فرمول زیر بدست می‌آید :

$$\frac{B-C}{S} = \frac{0,7B}{S}$$

بهره ساعتی سرمایه برای دارندگان ماشین‌آلات :

مبلغی که بابت بهره سرمایه در نظر گرفته می‌شود، دارای دو جزء است :

الف- افت ارزش پول که ناشی از عوامل تورم و سایر عوامل اقتصادی در یک کشور است و به صورت گران شدن کالاها و خدمات تجلی پیدا می‌کند. لذا هنگام محاسبه هزینه ساعتی ماشین‌آلات باید صاحب سرمایه نه تنها به استهلاک سرمایه توجه نماید، بلکه باید متوجه باشد که برگشت سرمایه حاصل از کار ماشین به میزانی باشد که پس از مستهلک شدن ماشین بتواند با آن سرمایه، ماشین نو مشابهی به قیمت روز تهیه و جایگزین ماشین اولیه نماید.

نکته مهمی که در اینجا لازم به یادآوری است این که افت ارزش پول معمولاً از طریق شاخص تورم به طور مرتب اعلام می‌گردد. ولی این شاخص نمی‌تواند ملاک عمل برای محاسبات قرار گیرد، زیرا شاخص تورم از عوامل متفاوتی که با یکدیگر اختلاف زیاد دارند تشکیل یافته است. لذا در مورد ماشین‌آلات باید از رقم شاخص تورم صرفاً به عنوان راهنما استفاده کرد. با توجه به اینکه ماشین‌آلات عمدتاً از طریق واردات تامین می‌شوند، برای این منظور بهتر است به افزایش قیمت ماشین‌آلات در سطح بین‌المللی و همچنین نرخ برابری ارزهای خارجی توجه نمود.

ب- سهمی از سودی که گیرنده پول با به کار انداختن آن بدست می‌آورد.

میزان سود سرمایه

در شرایط فعلی اگر قیمت کالایی زیاد باشد، اغلب خریداران اقدام به خرید نقد و اقساط می‌نمایند و چون ماشین‌آلات ساختمانی اکثراً گران هستند، لذا در این بررسی واقعیت‌های فعلی ملاک عمل قرار گرفته و میزان سود سرمایه با توجه به شرایط فعلی در نظر گرفته می‌شود.

مبلغی که در حال حاضر بطور نقدی برای خرید ماشین‌آلات پرداخت می‌شود، اکثراً زیر ۲۰ درصد قیمت ماشین می‌باشد و بقیه پول در اقساط بلند مدت از خریداران دریافت می‌شود. چون خریداران ۸۰ درصد از قیمت ماشین را عملاً سرمایه گذاری نمی‌کنند، بلکه از کارکرد ماشین درآمد خود ماشین را بدست می‌آورند. لذا بند ب از قسمت سود سرمایه شامل این ۸۰ درصد قیمت ماشین نمی‌شود، ولی به عوض خریداران، سود کمپانی فروشنده را باید بپردازند که در آن افت ارزش پول نیز منظور شده است.

بنابراین چنانچه در محاسبات سود ۲۰ درصد نقدی خریدار را نیز معادل سود کمپانی فروشنده در نظر بگیریم، می‌توانیم در حد قابل قبولی که با واقعیات کار تطبیق می‌نماید قرار بگیریم.

در حال حاضر سود اکثر کمپانی‌های فروشنده ماشین‌آلات ۱۶ درصد است و ما نیز همین رقم را پیشنهاد کرده و در محاسبات خود منظور می‌نماییم

نکته دیگری که در محاسبات باید در نظر گرفته شود این است که چون ۷۰ درصد قیمت ماشین در محاسبات مستهلک می‌گردد و لذا سود ۷۰ درصد قیمت ماشین نیز بطور استهلاکی حساب می‌شود، ۳۰ درصد بقیه باید از سود کامل برخوردار گردد. یعنی ۷۰٪ با

سود یکنواخت $8 = \frac{16}{2}$ درصد و ۳۰٪ با سود یکنواخت ۱۶ درصد باید مبنی محاسبات قرار گیرد.

فرمول‌های محاسبه سود ساعتی سرمایه برای دارندگان ماشین‌آلات

با توجه به آنچه گفته شد:

S عمر مفید ماشین بر حسب ساعت

B قیمت خرید نقدی ماشین

C مبلغ حاصل از فروش ماشین مستهلک شده $= 0,3B$

D سود سالانه سرمایه بر حسب درصد (در اینجا ۱۶٪)

N عمر بهره برداری از ماشین بر حسب سال

سود ساعتی سرمایه برابر است با:

$$\frac{0,3B.D.N + 0,7B.D.N \times \frac{1}{4}}{100S}$$

$$= \frac{0,65B.D.N}{100S}$$

و برای سود ۱۶ درصدی بصورت زیر در می‌آید:

$$= \frac{0,104B.N}{S}$$

هزینه‌های سرمایه‌ای جهت برآورد مقدماتی

با توجه به اینکه برآورد کنندگان و یا کارفرمایان هنگام محاسبه هزینه‌های سرمایه‌ای اغلب به نوع، مدل، قدرت و قیمت ماشین دسترسی ندارند، لذا باید شرایط متوسطی را که بتوان به کمک آن به رقم قابل قبول رسید، مورد استفاده قرار داد. برای رسیدن به چنین رقمی باید ماشینی را مورد نظر قرار داد که نیمی از عمر مفید خود را پشت سر گذاشته که به این ترتیب دارای بازدهی متوسط تعمیرات عمر متوسط و بالاخره هزینه‌های متوسط خواهد بود.

استهلاک ساعتی سرمایه برای برآورد مقدماتی

استهلاک ساعتی سرمایه برای برآورد مقدماتی از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$\text{استهلاک ساعتی سرمایه} = \frac{0,7B}{S}$$

اگر E را قیمت متوسط ماشینی که برای محاسبه هزینه ساعتی متوسط مورد استفاده قرار می‌گیرد، در نظر بگیریم، مقدار آن به این ترتیب حساب می‌شود. اولاً فرض می‌کنیم قیمت ماشین نو در تاریخی که برآورد مقدماتی انجام می‌شود، B باشد و ثانیاً قیمت ماشین‌آلات بطور متوسط در هر سال ۱۰ درصد اضافه شده باشد و ثالثاً عمر بهره برداری ماشین N سال باشد. حال قیمت متوسط ماشین با عمر N سال به دست می‌آید:

$$E = B + 0,1B \frac{N}{4} = B(1 + 0,025N)$$

$$B = \frac{E}{(1 + 0,025N)} \quad \text{یا}$$

و با توجه به استهلاک ساعتی سرمایه جهت برآورد مقدماتی: $\frac{0,7B}{S}$

استهلاک ساعتی سرمایه برای برآورد مقدماتی بدست می‌آید:

$$\frac{0,7E}{(1+0,05N) \times S}$$

سود ساعتی سرمایه برای برآورد مقدماتی:

با توجه به توضیحات پیش گفته سود ساعتی سرمایه جهت برآورد مقدماتی با استفاده از قیمت متوسط ماشین به جای قیمت خرید نقدی بصورت زیر بدست می‌آید:

$$= \frac{0,104 B.N}{S}$$

$$= \frac{0,104 E.N}{(1+0,05N) \times S}$$

نگهداری، تعمیرات، تهیه قطعات یدکی و قطعات مصرفی

در مواردی که دسترسی به ارقام صحیح امکان پذیر نیست می‌توان از فرمول زیر که ارقام متوسط تجربی را ارائه می‌دهد، استفاده نمود:

الف. هزینه ساعتی تعمیر و نگهداری برای آن دسته از دارندگان ماشین‌آلات که دارای دستگاه حسابداری صنعتی نبوده و از رقم صحیح هزینه اطلاع ندارند، در این حالات هزینه ساعتی تعمیر و نگهداری و تهیه قطعات یدکی و قطعات مصرفی از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$= \frac{I.B}{S} = \text{هزینه ساعتی تعمیر و نگهداری و تهیه قطعات یدکی}$$

I : ضریب هزینه تعمیر و نگهداری

B : قیمت نقدی خرید اولیه ماشین

S : عمر مفید ماشین بر حسب ساعت

ب. هزینه ساعتی تعمیر و نگهداری، که در این حالت هزینه ساعتی از فرمول محاسبه می‌شود:

$$= \frac{I.B}{S} = \text{هزینه ساعتی تعمیر و نگهداری و تهیه قطعات یدکی}$$

B : از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$B = \frac{E}{(1+0,05N)}$$

N : عمر بهره برداری از ماشین بر حسب سال

E : قیمت متوسط ماشین جهت برآورد مقدماتی

با توجه به مطالب فوق هزینه ساعتی تعمیر، نگهداری و تامین قطعات یدکی را با رابطه زیر می‌توان حساب کرد:

$$\text{هزینه ساعتی تعمیر و نگهداری و تهیه قطعات یدکی} = \frac{I.E}{(1 + 0.05N) \times S}$$

سوخت

مقدار سوخت مصرفی ماشین آلات بنزین سوز یا گازوئیل سوز را بر اساس فرمول های سازمان برنامه و بودجه می توان بدست آورد:

- برای ماشین های سنگین $0.175x$
- برای ماشین های نیمه سنگین $0.14x$
- برای ماشین های سبک $0.12x$

x : قدرت موتور ماشین بر حسب اسب بخار (hp) می باشد. در مورد ماشین هایی که با برق کار می کنند، می توان از فرمول زیر استفاده نمود:

$$\text{یک کیلو وات (kw) = } 1/37 \text{ اسب بخار (hp)}$$

ماشین های سبک: بتونیر، سواری، ویراتور، لندروور یا انواع وانت، وینچ دیزلی، پمپ های دیزلی کوچک.
 ماشین آلات نیمه سنگین: تراک میکسر، انواع مینی بوس و اتوبوس، دامپر، پمپ بتن، انواع کمپکتور دیزلی، انواع شمع کوب، ماشین های پخش کننده قیر
 باقی ماشین آلات سنگین به حساب می آیند.

روغن، گریس، آب، باطری

هزینه مواد مصرفی برای ماشین آلات مختلف متفاوت است. ولی بعلت تاثیر کمی که این نوع هزینه ها بر هزینه ساعتی ماشین آلات دارند، می توان از دقت زیاد صرف نظر نمود و رقم متوسطی را به کار برد. به طور کلی هزینه مواد مصرفی معادل ۲۰ درصد هزینه سوخت پیشنهاد می شود.

مثال

مطلوبست برآورد هزینه مالکیت و بهره برداری برای ماشین لودر کاتریپلار مدل ۹۶۶

عمر مفید ۱۰،۰۰۰ ساعت

عمر بهره برداری ۶/۷ سال

تعداد ساعات بهره گیری سالیانه ۱۵۰۰ ساعت

قیمت تحویل ماشین ۱۶۰۰ میلیون ریال

قدرت موتور ۲۱۶ اسب بخار

نرخ سود ۱۰ درصد

قیمت سوخت ۱۶۰ ریال برای هر لیتر

$$0.3E = 0.3 \times 1600 = 480$$

اسقاط ماشین

قیمت لاستیک ۳۲ میلیون ریال

عمر لاستیک ۳۰۰۰ ساعت

مخارج مالکیت

$$\begin{aligned} \text{ارزش ماشین در ابتدای سال} &= \frac{2 \cdot Y}{N} \times \text{استهلاک} \\ &= \frac{2 \times (1600 - 32)}{6/7} = 468/0597 \text{ میلیون ریال} \end{aligned}$$

۱۶۰۰ میلیون ریال	سرمایه گذاری در ابتدای سال
$1600 - 468/0597 = 1137/94$ میلیون ریال	سرمایه گذاری در انتهای سال
$\frac{1600 + 1137/94}{2} = 1365/97$ میلیون ریال	سرمایه متوسط
$1365/97 \times \frac{0/1}{1500} \times 10^6 = 91065$ ریال در ساعت	مخارج سود ساعتی
$\frac{468/059}{1500} \times 10^6 + 91065 = 403104$ ریال در ساعت	کل مخارج مالکیت

مخارج بهره برداری از ماشین

مخارج سوخت

$$\text{مصرف سوخت ساعتی (فاکتور مصرف ۶۰ درصد)} = 29/42 \text{ لیتر} = 0/227 \times 216 \times 0/6$$

$29/42 \times 160 = 4707/1$ ریال	قیمت سوخت
$1/3 \times 4707/1 = 1569$ ریال	مخارج سرویس ساعتی (۱/۳ مخارج سوخت تخمین زده می‌شود)
	مخارج تعمیرات
$(1600 - 32) \times 0/6 = 940/8$ میلیون ریال	هزینه تعمیرات در طول عمر ماشین (با ضریب ۰/۶)
	هزینه ساعتی تعمیرات برای سال اول:

$$\text{میلیون ریال} \frac{1}{1+2+3+\dots+6+6/7} \times 940/8 = 33/964$$

$$\text{ریال} \frac{33/964}{1500} \times 10^6 = 22643 \text{ مخارج ساعتی تعمیرات}$$

مخارج لاستیک

$$\text{ریال} \frac{32}{3000} \times 10^6 = 10667 \text{ مخارج تعویض لاستیک}$$

$$\text{ریال} 10667 \times 0/15 = 1600 \text{ مخارج تعمیر لاستیک}$$

$$\text{ریال} 12267 \text{ کل مخارج لاستیک}$$

مخارج روغن

$$q = \frac{hp \times 0.06 \times 0.00272}{0.1887} + \frac{c}{t}$$

مصرف ساعتی روغن

$$= \frac{216 \times 0.06 \times 0.00272}{0.1887} + (0.141 + 0.045 + 0.05 + 0.07) = 0.706$$

لیتر در ساعت

$$\text{هزینه ساعتی روغن (از قرار لیتری ۱۰,۰۰۰ ریال)} = 0.706 \times 10,000 = 7060 \text{ ریال}$$

۴۸۲۴۶

کل مخارج بهره برداری ساعتی

- روش کلاسیک

این روش در کتب متداول ماشین آلات ارایه شده و می تواند به عنوان راهنمای عمومی مورد استفاده قرار گیرد.

مثال

مطلوبست تعیین هزینه ساعتی بابت مالکیت و بهره برداری یک بیل مکانیکی که با موتور دیزل نصب شده روی شاسی با چرخ زنجیری و ظرفیت ۱/۵ مترمکعب و اطلاعات زیر مورد استفاده قرار می گیرد.

موتور ۱۶۲/۱۷۶ اسب بخار

ظرفیت مخزن روغن ۲۲/۷۱۲ لیتر

جمع ساعات بین دو تعویض ۱۰۰ ساعت

فاکتور بهره گیری از موتور ۰/۶

محاسبه سوخت مصرفی

$$0.6 \times 0.15 + 162/176 = 14/596$$

$$\frac{162/176 \times 0.6 \times 0.00272}{0.1887} + \frac{22/712}{100} = 0.525$$

لیتر در ساعت مصرفی

وزن خالص ۶۱۷۰۰ کیلوگرم

عمر مفید ۶ سال

تعداد ساعات بهره گیری از ماشین در سال ۲۰۰۰ ساعت

مخارج مالکیت

قیمت ماشین ۶۵۸۰۸۰۰ واحد

هزینه حمل و نقل ۶۱۷۰۰ کیلوگرم (بازای هر ۱۰۰ کیلوگرم ۳۱۷/۴ واحد) = ۱۹۵۸۴۰ واحد

تخلیه و آماده کردن ۱۷۶۰۰ واحد

مخارج کل مالکیت ۶۷۹۴۲۴۰ واحد

ارزش متوسط ماشین ۵۸۳۳ × ۶۷۹۴۲۴۰ = ۳۹۶۳۰۸۰ واحد

مخارج سالیانه

$$1132373 = 6794240 \div 6$$

استهلاک

$$\text{واحد } 1132373$$

نگهداری و تعمیرات؛ ۱۰۰ درصد استهلاک

بهره سرمایه گذاری ۱۲ درصد	
هزینه سرمایه‌گذاری	$۰/۱۲ \times ۳۹۶۳۰۸۰ = ۴۷۵۵۷۰$ واحد
کل مخارج ثابت سالانه	۲۷۴۰۳۱۶ واحد
مخارج ساعتی	
مخارج ثابت در ساعت	$۲۷۴۰۳۱۶ \div ۲۰۰۰ = ۱۳۷۰$ واحد
سوخت	$۱۴/۵۹۶ \times ۱۰ = ۱۴۵/۹۶$ لیتر واحد
روغن موتور	$۰/۵۲۵ \times ۶۰ = ۳۱/۴۴$ واحد
جمع کل هزینه در ساعت بدون کارگر	۱۵۴۷/۴ واحد

مثال

مطلوبست مخارج ساعتی مالکیت و بهره برداری یک واگن تخلیه کننده از زیر با ظرفیت توده ای ۱۹ متر مکعب که با شش چرخ لاستیکی مجهز شده است. چون چرخ و واگن دارای عمر مختلف هستند، بنابراین آنها به طور جداگانه مورد بحث قرار می‌گیرند. اطلاعات زیر مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

موتور دیزل بقدرت ۲۵۳/۴ اسب بخار

ظرفیت مخزن روغن ۵۳ لیتر

تعداد ساعات بین دو تعویض روغن ۸۰ ساعت

فاکتور بهره گیری ۰/۶

محاسبه مصرف سوخت در ساعت $۲۲/۸۱ = ۲۵۳/۴ \times ۰/۱۵ \times ۰/۶$ لیتر

مصرف روغن در ساعت $۱/۱۳ = \frac{۵۳}{۸۰} + \frac{۲۵۳/۴ \times ۰/۶ \times ۰/۰۰۲۷۲}{۰/۸۸۷}$ لیتر

عمر مفید ماشین ۵ سال

تعداد ساعات بهره گیری در سال ۲۰۰۰ ساعت

هزینه نگهداری و تعمیر، ۵۰ درصد استهلاک

عمر لاستیک ۵۰۰۰ ساعت و هزینه تعمیرات آن ۱۵ درصد استهلاک

مخارج مالکیت

قیمت تحویل ماشین به مالک	۳۸۱۱۲۰۰ واحد
قیمت لاستیک کسر می‌شود	۷۴۸۸۰- واحد
قیمت خالص (بدون لاستیک)	۳۰۶۲۴۰ واحد
سرمایه گذاری متوسط (ارزش متوسط)	$۰/۶ \times ۳۸۱۱۲۰ = ۲۲۸۶۷۲$ واحد
هزینه سالیانه	
استهلاک	$۳۰۶۲۴۰ \div ۵ = ۶۱۲۴۸۰$ واحد
نگهداری و تعمیرات	$۶۱۲۴۸۰ \times ۰/۱۵ = ۹۱۸۷۲۰$ واحد

	بهره سرمایه گذاری ۱۲ درصد
$۲۷۴۴۰۶ = ۲۲۸۶۷۲۰ \times ۰/۱۲$	سرمایه گذاری
۱۱۹۳۱۲۶ واحد	مخارج کل ثابت سالانه
	مخارج ساعتی
$۵۹۷ = ۱۱۹۳۱۲۶ \div ۲۰۰۰$	هزینه ثابت
$۱۵۰ = ۷۴۸۸۰۰ \div ۵۰۰۰$	استهلاک لاستیک
$۲۳ = ۱۵۰ \times ۰/۱۵$	تعمیر لاستیک
۲۲۸/۱ واحد	سوخت ۲۲/۸۱ لیتر و هر لیتر ۱۰ واحد
۶۷/۸ واحد	روغن ۱/۱۳ لیتر و هر لیتر ۶۰ واحد
۱۰۶۵/۹ واحد	جمع کل هزینه در ساعت بدون کارگر

۲-۸- بررسی مخارج تملک ماشین آلات و مقایسه با روشهای دیگر

پیمانکاران و سایر مصرف کنندگان ماشین آلات ساختمانی دائماً در برابر این تصمیم قرار دارند که آیا ماشین آلات را خریداری یا اجاره نمایند. تحت شرایط خاصی خریداری ماشین آلات دارای مزایای اقتصادی زیادی است، در صورتیکه ممکن است تحت شرایط دیگر کرایه آنها اقتصادی تر و موفقیت آمیزتر باشد.

یک پیمانکار ممکن است تصمیم بگیرد تمام یا قسمتی از ماشین آلات مورد نیاز خود را در یک پروژه به دلیل مدت زمان کوتاه انجام کار، عدم اطمینان از وجود کار در آینده یا فقدان سرمایه کافی اجاره نماید. مسائلی که در کرایه ماشین آلات باید مورد توجه قرار گیرند، هزینه و تعمیرات ماشین آلات کرایه‌ای است. هزینه کرایه ماشین تحت تاثیر میزان تقاضا برای آن، وضعیت ماشین و موقعیت اقتصادی طرفین می‌باشد.

هزینه‌ها معمولاً بر پایه میزان کارکرد ساعتی ماشین محاسبه می‌شود. میزان کارکرد را می‌توان از روی گزارشات پیمانکار یا گزارش ناظر یا از روی شمارنده کارکرد موتور و یا ترکیبی از این روش‌ها تعیین نمود.

تعمیرات جز مسائل اساسی در هر توافق نامه اجاره ماشین آلات می‌باشد. بسته به عرف محلی و نوع و شرایط تجهیزات، خط مشی مالکین ماشین آلات متفاوت خواهد بود. مالک باید بازدیدهای فنی و تعمیرات اساسی را به موقع انجام دهد تا ماشین در دوره اجاره بتواند بدون نقص فنی قابل ملاحظه به کار بپردازد. موجد نیز باید تمامی تعمیرات جزئی، خسارات ناشی از استفاده غیر صحیح یا تعویض لوازم مصرفی مانند کابلها، تیغه‌های برش و سایر قطعات در معرض سایش را بر عهده گیرد و ماشین را به همان فرم اولیه صرفنظر از فرسایش طبیعی به مالک بازگرداند.

- تملک در مقایسه با اجاره

هدف از این بحث تعیین اقتصادی ترین روش برای مصرف کنندگان می‌باشد. حداقل سه روش متداول موجود است و پیمانکار باید بررسی کند که استفاده از کدام یک از این روشها مطمئن تر می‌باشد.

۱. خریدن ماشین آلات

۲. اجاره کردن ماشین‌آلات

۳. اجاره کردن ماشین‌آلات به شرط تملیک آنها در یک زمان طولانی

روش انتخاب شده باید بگونه‌ای باشد که بتواند مصرف ماشین‌آلات را با کمترین مخارج کل تامین نماید. هر کدام از روشها دارای محاسن و معایبی هستند که باید قبل از تصمیم‌گیری مورد بررسی قرار گیرند. اگر هزینه تنها عامل مورد نظر باشد، یک تحلیل اقتصادی متعارف هزینه/سود با هر کدام از روشها جوابگو خواهد بود. اگر عوامل دیگری باید مورد نظر قرار گیرند، ابتدا باید آنها را ارزیابی کرد و سپس در هزینه جهت کمک به تصمیم‌گیری منظور نمود. تصمیم صحیح برای یک پیمانکار ممکن است برای پیمانکار دیگر مفید نباشد.

به عنوان مثال ممکن است برای یک پیمانکار استفاده از سیستم تخلیه آبهای سطحی در گودبرداری به وسیله حفر چاه در اطراف آن و تخلیه آبهای زیر زمینی آنها بوسیله پمپاژ کردن مقدور باشد. در صورتیکه برای پیمانکار دیگر مصرف اینگونه سیستم فقط یک بار در چند سال پیش بیاید. لذا پیمانکار اول باید ماشین‌آلات لازم را خریداری کند و پیمانکار دوم آنها را اجاره نماید. بنابراین پیمانکاری که ماشین‌آلات را خریداری می‌نماید، آنها را دائماً مصرف می‌کند و دیگری که آنها را بندرت مورد استفاده قرار می‌دهد، باید ماشین‌آلات را اجاره کند.

در اینجا با استفاده از یک سری فرضیات معادله‌ای ارائه می‌شود که تعداد ساعات مصرف در سال را که مخارج مالکیت و اجاره ماشین‌آلات برابر می‌شود، محاسبه می‌کند. به علت فرضیات انجام شده و نوسانات در وضعیت بهره‌گیری از ماشین نمی‌توان چندان انتظار داشت که نتیجه دقیق باشد، ولی می‌تواند به عنوان راهنما مورد استفاده قرار گیرد.

P : هزینه کل ماشین

S : ارزش نهایی تخمین زده شده در انتهای عمر مفید ماشین‌آلات

N : تعداد سال عمر مفید

p : نسبت هزینه سالانه نگهداری و تعمیرات تقسیم بر هزینه سالانه استهلاک بر اساس مصرف ۲۰۰۰ ساعت ماشین‌آلات در سال

q : مساوی P است اگر ماشین‌آلات ۲۰۰۰ ساعت در سال مورد استفاده قرار گیرند و کوچکتر از P است اگر ماشین‌آلات کمتر از ۲۰۰۰ ساعت در سال مورد استفاده قرار گیرند.

i : مجموع هزینه‌های سالانه، بهره، بیمه، مالیات و توقفگاه که به صورت درصدی از ارزش متوسط ماشین‌آلات بیان می‌شود و حدود ۰/۱۳ در نظر گرفته می‌شود.

Q : عاملی که در قیمت اولیه ماشین‌آلات به منظور تعیین ارزش متوسط در طول عمر مفیدش ضرب می‌شود و بصورت کسر اعشاری بیان می‌گردد. مقادیر Q در جدول ۲-۱۴ ارائه شده است.

C : مخارج ماهیانه اجاره ماشین‌آلات، بدون هزینه‌های سوخت روغن و گریس و دستمزد راننده

n : تعداد ساعات مصرف سالیانه که در آن مخارج مالکیت و اجاره ماشین‌آلات مساوی می‌شود.

با استفاده از علائم و اصطلاحات فوق هزینه سالانه مالکیت و بهره برداری ماشین‌آلات را می‌توان تعیین نمود:

جدول ۲-۱۴. مقادیر فاکتور ارزش متوسط (Q)

عمر (سال)	ارزش متوسط به صورت درصد قیمت اولیه
۲	۷۵
۳	۶۶/۷
۴	۶۲/۵
۵	۶۰
۶	۵۸/۳۳
۷	۵۷/۱۴
۸	۵۶/۲۵
۹	۵۵/۵۵
۱۰	۵۵
۱۱	۵۴/۵۴
۱۲	۵۴/۱۷

هزینه ساعتی مالکیت ماشین آلات

$$\text{استهلاک} = \frac{P - S}{N}$$

$$\text{نگهداری و تعمیر} = q \frac{P - S}{N}$$

$$\text{سرمایه گذاری} = iPQ$$

$$\text{هزینه} = \frac{P - S}{Nn} + q \frac{P - S}{Nn} + \frac{iPQ}{n} \quad (a)$$

مخارج ساعتی اجاره ماشین آلات

$$\text{فقط اجاره} = \frac{C}{۱۷۵}$$

$$\text{تعمیرات} = \frac{۱}{۳} p \frac{P - S}{Nn}$$

$$\text{هزینه در ساعت} = \frac{C}{۱۷۵} + \frac{۱}{۳} p \frac{P - S}{Nn} \quad (b)$$

با مساوی قرار دادن (a) و (b) خواهیم داشت :

$$\frac{P - S}{Nn} + q \frac{P - S}{Nn} + \frac{iPQ}{n} = \frac{C}{۱۷۵} + \frac{۱}{۳} p \frac{P - S}{Nn} \quad (c)$$

معادله فوق را می‌بایست برای بدست آوردن n حل کرد.

مثال

یک دستگاه بولدوزر با ارزش اولیه ۲/۴۴ میلیون ریال و عمر مفید ۵ سال و ۲۰۰۰ ساعت کارکرد در سال و ارزش نهایی تخمینی ۲۴۰۰۰۰ ریال را در نظر بگیرید. تعداد ساعات بهره برداری از ماشین که در آن هزینه‌های اجاره و تملک ماشین با هم برابر می‌شوند حساب کنید.

$$P = 2440000$$

$$S = 240000$$

$$P - S = 2200000$$

$$N = 5$$

$$p = 0.9$$

$$q = 0.2 - 0.000035$$

$$i = 0.13$$

$$Q = 0.6$$

$$C = 212080 \text{ ریال}$$

اگر مقادیر فوق را در معادله (C) قرار دهیم بدست می‌آید:

$$n = 600 \text{ ساعت در سال}$$

بنابراین برای ماشین فوق اگر میزان استفاده کمتر از ۶۰۰ ساعت در سال می‌باشد، اجاره آن از نظر اقتصادی به صرفه تر است و در صورتیکه بیشتر از ۶۰۰ ساعت مورد استفاده قرار گیرد، خرید آن صحیح تر خواهد بود.

- اجاره ماشین‌آلات با امکان خرید

تحت این گزینه ممکن است پیمانکار ماشین‌آلات را با یک میزان متداول اجاره کند، به این شرط که در صورت تمایل بعداً بتواند آنها را خریداری نماید. هنگامیکه او تصمیم به خرید ماشین‌آلات می‌گیرد، ممکن است قسمت معینی از اجاره پرداختی را بابت قیمت اولیه ماشین‌آلات به حساب آورد. در قرارداد ممکن است تعیین شود که مثلاً ۹۰ درصد از اجاره پرداختی بابت خرید منظور شود. بر اثر این برنامه صرف نظر از بهره، تنها ۱۰ درصد از مقادیری که بابت اجاره پرداخت شده به قیمت خرید ماشین‌آلات اضافه می‌شود. به هر حال چون اجاره کننده الزامی به پرداخت بهره مالیات و بیمه ماشین‌آلات استیجاری ندارد، نتیجتاً صرفه جویی این هزینه‌ها قیمت را کاهش می‌دهد.

این برنامه را در مورد بولدزر مثال قبلی بکار می‌بریم.

$$\text{قیمت اولیه} = 2440000$$

$$\text{اجاره داده شده در ۸ ماه بقرار ماهیانه ۲۱۲۰۸۰} = 1696640$$

$$\text{قسمتی از اجاره که بابت خرید منظور می‌گردد} = 1526976 = 0.9 \times 1696640$$

$$\text{موازنه} \quad \underline{\quad 903024 \quad}$$

بنابراین پیمانکار می‌تواند بولدوزری را که دارای عمر مفید ۴ سال و ۴ ماه است، به قیمت کمتر از نصف قیمت اولیه‌اش خریداری نماید و اگر نیاز به ماشین دارد حتماً باید آنرا خریداری نماید. همچنین با در نظر گرفتن ارزش نهایی قیمت اولیه بیشتر کاهش می‌یابد.

هزینه ساعتی بعد از خرید برای مدت ۴ سال و ۴ ماه را می توان بصورت زیر تعیین نمود :

مخارج اضافی	= ۹۱۳۰۲۴
ارزش نهایی تخمینی	= ۲۴۰۰۰۰
استهلاک خالص	= ۶۷۳۰۲۴
ارزش متوسط در هنگام عمر مفید ماشین آلات	$۰/۶۲ \times ۹۱۳۰۲۴ = ۵۶۶۰۷۵$

هزینه سالیانه

استهلاک	$۶۷۳۰۲۴ \div ۴/۳۳ = ۱۵۵۴۳۳$
نگهداری و تعمیرات	$\frac{۰/۹ \times ۲۴۴۰۰۰۰ - ۲۴۰۰۰۰}{۵} = ۳۹۶۰۰۰$

(مانند ماشین نو محاسبه می شود)

بهره سرمایه گذاری ۱۳ درصد	$۰/۱۳ \times ۵۶۶۰۷۵ = ۷۳۵۹۰$
جمع سالانه	<u>۶۲۵۰۲۳</u>

مخارج ساعتی

مخارج ثابت	$۶۲۵۰۲۳ \div ۲۰۰۰ = ۳۱۳$
سوخت ۱۹ لیتر از قرار لیتری ۱۰ واحد	= ۱۹۰
روغن و گریس	= ۵۲
هزینه کل ساعتی	<u>= ۵۵۵</u>

بنابراین پیمانکاری که اجاره این واحد را برای ۸ ماه پرداخت کرده است، می تواند آنرا خریداری کرده و در بقیه عمر مفیدش با هزینه بسیار مناسب مورد بهره برداری قرار دهد.

۲-۹- معیارهای موثر در تامین ماشین آلات

خرید یک ماشین جدید یا کار کرده مستلزم در نظر گرفتن نوع و حجم کار در دست انجام و مورد انتظار، قیمت و وجود مدل های مناسب به علاوه مهارت شخصی که ماشین را بکار خواهد برد و نیز وضعیت کاری و استراتژی سازمان می باشد.

اندازه . بحث اندازه ماشین باید به درستی مورد توجه قرار گیرد. یک ماشین حفاری بزرگ بسیار گرانتر و دارای هزینه های حمل و نقل بیشتری است و نیز به فضای کاری بیشتری نیاز دارد. البته در یک زمان مشخص قادر به حرکت دادن مواد بیشتر و کار کردن در زمینهای سخت تر بوده و در صورت وجود فضا برای کار، هزینه کمتری بازای هر مترمکعب خاک کنده شده خواهد داشت. به دلیل حجم زیاد سوخت و روغن مورد استفاده و وزن قطعات، سرویس و نگهداری آن سخت تر است. در زمینهای نرم به راحتی فرو می رود، ولی در زمینهای سفت کمتر دچار مشکل می گردد.

در زمینهای نرم و جاهایی که فضای کار محدود است و یا شرایط نامساعد دیگری برای کار کردن ماشین های بزرگ وجود دارد، یک ماشین کوچکتر نه تنها با هزینه کمتری بازای هر متر مکعب خاک کار می کند، بلکه می تواند حجم بیشتری را نیز جابجا نماید.

ماشین بزرگتر به نسبت، بازگشت سرمایه بیشتری به هنگام فروش به همراه دارد و در کل می‌توان جمع‌بندی نمود که تمایل به استفاده از ماشین‌آلات بزرگتر بیشتر است.

انتخاب ماشین نو یا کار کرده به منظور خرید

برخی پیمانکاران موفق فقط ماشین‌آلات نو خریداری می‌کنند، در حالی که برخی دیگر تنها تجهیزات کارکرده را می‌خرند. در کل اما نه همیشه یک ماشین نو مشکلات مکانیکی کمتری به همراه دارد و خدمات پس از فروش بهتری را از طرف فروشنده دریافت خواهد کرد. البته هزینه خرید بسیار بالاتر و افت قیمت آن هنگام فروش بیشتر است. ولی از طرفی ارزش تبلیغاتی و اعتباری برای شرکت پیمانکاری دارد.

خریدار ماشین کارکرده باید در مورد شرایط مکانیکی و قیمت‌های بازار اطلاع کافی در اختیار داشته باشد و منتظر حراجی‌ها و سایر فروش‌های اجباری باشد. ممکن است زمانی زیادی برای یافتن یک مدل خاص با قیمت خوب صرف شود. به طور متوسط هزینه تعمیرات بسیار بیشتر بوده و خدمات در مقایسه با ماشین جدید رضایت‌بخشی کمتری به دنبال خواهد داشت. خریداران با تجربه ماشین‌های دست دوم، اغلب پس از دریافت مقدار معتنا بهی کار از این ماشین‌ها قادر به فروش آنها با بهره خوب می‌باشند.

هزینه. پیمانکار باید هزینه خرید تجهیزات مورد نظر خود را به دو طریق نقد و اعتباری که برای خرید و به کارگیری ماشین کنار گذاشته شده و ارتباط بین هزینه مالکیت و عملکرد مالی ماشین، مورد ملاحظه قرار دهد. مخارج اولیه برای پیمانکاری که منابع مالی محدودی در اختیار دارد، آیت مهمی محسوب می‌شود، ولی برای پیمانکاران بزرگ با بنیه مالی قوی در مقابل هزینه‌های طولانی مدت فاکتور چندان مهمی نیست.

مشخصات فنی، روشهای اجرا و انتخاب صحیح ناوگان ماشین آلات

۳-۱- روش های اجرایی

با پیدایش ماشین آلات سنگین و روش های جدید انجام کار، کل زمان لازم برای اجرای پروژه های مهندسی راه و ساختمان به نحو چشم گیری کاهش یافته است. در کشورهای دارای نرخ دستمزد بالای کارگر استفاده از ماشین آلات به سرعت و صرفه جویی اقتصادی بیشتر منجر شده می گردد، اما در مکان هایی که نرخ دستمزد پایین است، استفاده از ماشین آلات سنگین تنها برای صرفه جویی در زمان توجیه پذیر است، البته در صورتی که زمان ارزش سرمایه ای زیادی داشته باشد. با این حال انجام برخی کارها (صرف نظر از هزینه کار) بدون استفاده از ماشین آلات بزرگ ممکن نیست، اما برای کارهای کوچک هنوز هم روش های دستی در بسیاری موارد ارزانتر از به کار بردن تجهیزات مکانیکی سنگین تمام می شود. قبل از انتخاب روش صحیح اجرا باید پروژه و عملیات تشکیل دهنده آن را به دقت مورد بررسی قرار داد. نیروی کار زیاد، درجه بالایی از مکانیزاسیون یا ترکیبی از نیروی کار و نیروی مکانیکی سه راه حلی هستند که باید مورد توجه قرار گیرند. گستردگی و پیچیدگی کارهای منفرد و زمان محدود انجام پروژه های عمرانی اخیر افزایش چشمگیری یافته است. این وضعیت سبب شده تا توجه مهندسين بر روی بررسی جزئیات تمامی روش های اجرایی ممکن متمرکز گردد.

انتخاب روش اجرایی جزء ضروری برنامه ریزی یک پروژه ی عمرانی محسوب می شود. روشهای پایه ای عملیات ساختمانی بر اساس سالها تجربه و از روی روشهای سنتی که مهندس باید کاملاً با آنها آشنایی داشته باشد، به وجود آمده اند. ولی در برخی شرایط متناسب با موقعیتهای ویژه تغییراتی در روش های اجرایی سنتی داده می شود و در مواقع ضروری با قضاوت مهندسی معمولاً روشهای جدیدی می توان ابداع کرد.

ملاحظات اساسی در انتخاب روشهای اجرایی و ماشین آلات، با توجه به ماهیت پروژه موجود متفاوت است. به عنوان مثال در کارهای پراکنده معمولاً چند کاره بودن تجهیزات امری ضروری است تا بدین ترتیب بتوان کارهای کوچک را بدون جابه جایی زیاد ماشین آلات یا بیکاری بیش از حد آنها انجام داد. (مساله ای که اغلب در مورد اقلام تخصصی وجود دارد). یک نمونه خوب بیل مکانیکی دوزری است که علاوه بر پاک سازی درختان سبک روی معدن قرصه و برداشتن مواد سطحی، می تواند با شکافتن مواد سخت، کار حفاری و بار گیری مواد را نیز انجام دهد. استفاده از چنین دستگاهی سبب پیوستگی عملیات، صرفه جویی در هزینه های حمل و نقل و صرفه جویی اقتصادی کلی می شود، هر چند که هر یک از این عملیات جداگانه را با ماشین آلات مخصوص بتوان به شکل بهتر و با قیمت پایین تری انجام داد. یکی از هدف های مفید و قابل مطالعه در ساخت ماشین آلات می تواند ساخت دستگاه هایی با بدنه ثابت باشد که با اضافه کردن ادوات مختلف و نصب بر روی آن بتوان آن را به دستگاهی چند کاره تبدیل نمود. این روش در صورت به کارگیری، به نفع استفاده کنندگان از ماشین آلات با حداقل هزینه خواهد بود و بسیاری از عملیات را با یک دستگاه با بدنه ثابت که روی آن ادوات و ابزارهای متعددی قابل نصب و سوار شدن است می توان انجام داد. برای نمونه می توان به مینی لودرهای چندکاره اشاره نمود که با یک بدنه ثابت و استفاده از ابزارهای جانبی آن، عملیات مختلفی از قبیل برش آسفالت، حفاری، حمل خاک،

تسطیح و یا کوبش را می‌توان انجام داد. بعضی از سازندگان بزرگ ماشین‌آلات سنگین روندی خلاف این مطلب را تعقیب می‌نمایند و آن عبارت از ساختن ماشین‌هایی است که منحصراً یکی از عملیات خاکی را انجام خواهد داد. در مورد کارهای پراکنده باید به محدود کردن ابعاد ماشین‌آلات در جهت اقتصادی بودن حمل و نقل آنها نیز توجه کرد. در مقابل در پروژه‌های عظیم و ثابتی نظیر سد یا تونل می‌توان از تجهیزات بسیار تخصصی و در برخی موارد نسبتاً سنگین نیز استفاده کرد. پس از استفاده از این تجهیزات، چنانچه پروژه کاملاً مناسب دیگری برای آنها وجود نداشته باشد، این تجهیزات را می‌توان فروخت.

بسیاری از ماشین‌آلات نیز مانند سازه‌های دائمی، خود به فوندانسیون‌های خوب نیاز دارند. در صورت مناسب بودن محوطه ساختمانی می‌توان از تجهیزات متحرک سنگین استفاده کرد، در غیر این صورت به تجهیزات سبکتر نیاز خواهد بود. در کارهایی نظیر پل‌سازی که به حایل موقت نیاز است، وزن ماشین‌آلات روی حایل موضوعی جدی است. ایمنی کار همواره از اهمیت درجه یک برخوردار است و ثبات دستگاه عاملی اساسی در انتخاب آن محسوب می‌شود. به عنوان مثال تجهیزات بار برداری متحرک معمولاً سنگین هستند و در طول‌های دسترسی بلند ظرفیت نسبتاً پایینی دارند، بنابراین آنها را باید در نزدیکی محل کار مستقر کرد. هنگام بلند کردن بار، مرکز ثقل به سمت جلو حرکت می‌کند و به این ترتیب فشارهای سنگینی به قسمت زیرین انتهای ماشین تحمیل می‌گردد.

با توجه به مطالب ذکر شده چنین نتیجه‌گیری می‌شود که انتخاب روش‌های مناسب اجرا بسته به ماهیت پروژه، نوع کار و حجم عملیات برای پروژه‌های مختلف متفاوت بوده و در هر مورد مدیر پروژه می‌بایست با بررسی شرایط پروژه روش مناسب را اتخاذ نماید.

۳-۲- محاسبه اتلاف زمان در انجام عملیات

عوامل مختلفی در طولانی شدن مدت اجرای عملیات تاثیر می‌گذارند، پاره‌ای از آنها اجتناب ناپذیر بوده و تعدادی از آنها را می‌توان از بین برد و یا به حداقل رساند. در زیر خلاصه‌ای از عوامل مؤثر در هدر رفتن زمان در حین عملیات بیان شده است.

۳-۲-۱- طولانی شدن مدت عملیات اجرایی به دلیل تاخیرهای طولانی :

هدر رفتگی ناشی از تاخیرهای طولانی (تاخیرهای بیش از ۱۵ دقیقه) از ۲ قسمت تشکیل شده اند:

۱. تاخیرهای ناشی از بدی آب و هوا که گاهی اوقات موجب تعطیلی کار می‌گردد.
۲. تاخیرهای ناشی از شکسته شدن قطعات ماشین‌آلات و احتمالاً نبودن قطعات یدکی در کارگاه و زمان لازم برای تهیه آنها و بالاخره زمان مربوط به تعمیرات.

۳-۲-۲- طولانی شدن مدت عملیات اجرایی به دلیل تاخیرهای کوتاه (کمتر از ۱۵ دقیقه)

این هدر رفتگی‌ها مجموع تاخیرهای کوتاه مدتی است که ظاهراً چندان مؤثر به نظر نمی‌رسند، ولی مجموع آنها رقم قابل ملاحظه‌ای می‌باشد. این تاخیرها ناشی از استراحت‌های کوتاه مدت لازم برای متصدیان ماشین‌آلات و بی‌نظمی‌هایی است که برنامه روزانه عملیات را به مدت کوتاهی بر هم می‌زند.

در ادامه برای روشن شدن مطلب جزئیات اتلاف زمان در عملیات دراز مدت با بیل مکانیکی تشریح می‌گردد. لازم به ذکر است که این اعداد به عنوان مثال بیان شده و ممکن است تحت شرایط مختلف تغییر نماید.

در محاسبه اتلاف زمان در هنگام کار با بیل اگر مدت اجرای عملیات را ۱۰۰ واحد زمان در نظر بگیریم، مدت واقعی اجرای عملیات برابر با ۴۲ واحد زمان خواهد بود. تأخیرهایی که باعث این اتلاف می‌شوند شامل تأخیرهای طولانی مدت مانند ناهار راننده، برخی از تعمیرات، شرایط نامناسب جوی و تأخیرهای کوتاه مدت کمتر از ۱۵ دقیقه هستند. برخی از تأخیرها در زیر آورده شده اند:

۱۰۰ واحد زمان	- مدت اجرای عملیات
۴۴ درصد	- مدت واقعی اجرای عملیات
۴۰ درصد	- تأخیرهای طولانی (بیش از ۱۵ دقیقه ناشی از بدی آب و هوا)
۱۶ درصد	- تأخیرهای کوتاه مدت (کمتر از ۱۵ دقیقه جمعاً)
	که شامل تأخیرهای زیر است:
۵ درصد	- کمبود کامیون نسبت به میزان محاسبه شده
۱/۵ درصد	- استقرار کامیون
۲ درصد	- جابه‌جا شدن بیل نسبت به جبهه عملیات
۱/۵ درصد	- تعمیر و نگهداری بیل مکانیکی
۱ درصد	- برداشتن موانع مانند تنه درخت و قطعات سنگ ضمن اجرا
۱/۵ درصد	- بدون راننده ماندن بیل مکانیکی
۳/۵ درصد	- مدت لازم برای آماده کردن جبهه‌های سنگی و منظم کردن محل عملیات پس از انفجار

۳-۳- تعیین حجم عملیات و برنامه ریزی انجام عملیات

۳-۳-۱- تعریف عملیات خاکی:

انجام حفاری‌های روباز، تغییر شکل و تغییر مکان مواد خاکی که مستلزم هر دو عمل خاکریزی و خاکبرداری باشد، عملیات خاکی نامیده می‌شود. عملیات خاکی شامل این موارد اصلی می‌شود:

پاکسازی محوطه از پوشش گیاهی، سست کردن و خاکبرداری مواد، حمل به نقاط خاکریزی، خاکریزی، متراکم ساختن خاک ریخته شده، بسترسازی نهایی نقاط خاکریزی و خاکبرداری، ایجاد زهکش (جهت تخلیه آبهای سطحی جمع شده حاصل از تغییر مسیر جریان طبیعی آب در نتیجه عملیات و تغییر شکل سطحی) و جلوگیری از شسته‌شدن و فرسایش خاکهای سطحی در اثر تمرکز آب و ناهمواری سطح طبیعی.

- پاکسازی محوطه:

پاکسازی معمولاً با قطع درختان و درآوردن کنده‌ها به کمک ماشین ریشه‌کنی، تراکتور، کابل و بولدوزر انجام می‌شود. در مجموع پاکسازی سطح زمین را ممکن است بر چندین عملیات بسته به نوع علفها و درختچه‌ها، شرایط خاک و فرم هندسی زمین، مقدار پاکسازی مورد نیاز و هدف پاکسازی، بصورت زیر تقسیم نمود:

- الف) از بین بردن کامل تمام درختها و ریشه‌های آنها
 ب) برطرف نمودن فقط علفها و بوته‌های روی سطح زمین و رها کردن ریشه‌ها و کنده‌ها به حال خود.
 ج) نابود کردن علفها و بوته‌ها به وسیله توده کردن آنها و سوزاندن
 د) بیرون آوردن گیاهان و یا بریدن آنها و قطعه قطعه کردن و خرد کردن آنها در روی سطح زمین و یا سوزاندن آنها

- سست کردن زمین :

سست کردن زمین، به صورت مکانیکی و با استفاده از ریپر انجام می‌شود. از ریپرهای برای کار در شیستهای رسی، ماسه سنگها و دیگر سنگهای غیر سخت و متوسط استفاده می‌شود. اما برای شکافتن سنگ های سخت ابتدا باید آنها را با مواد منفجره سست کرد. در صورت امکان موثرترین روش برای این منظور، شکافتن زمین در جهت سراسیبی و عمود بر رگه‌های لایه‌بندی مواد است. همچنین یک نوع دندان (ناخن) موجود است که در پشت تیغه بولدوزر قرار می‌گیرد. این عمل باعث سست شدن خاک در محل کار بولدوزر شده و سپس با استفاده از تیغه بولدوزر خاک را می‌توان بطور دلخواه جابجا نمود. استفاده از این ناخن‌ها، مقدار تولید را در همه نوع خاک به جز خاکهای خیلی سست افزایش می‌دهد. هنگامی که بولدوزر بطرف جلو حرکت می‌کند، پشت دندان با زمین در تماس بوده و بدون ایجاد اشکال بطور آزاد روی زمین کشیده می‌شود.

- خاکبرداری

هنگام انتخاب دستگاه خاکبرداری، بسته به هدف عملیات خاکی، نوع مواد و ابعاد پروژه باید به امکان استفاده از بولدوزرها، اسکرپرها، بیلهای مکانیکی، بیلهای کششی و انواع مختلف لودر توجه کرد. محدوده واقعی بازده بهینه انواع مختلف تجهیزات موجود خاکبرداری به منظور حمل در مسافتهای کوتاه، متوسط و طولانی را باید براساس هرکار مشخص تعیین نمود. برای مسیرهای کوتاه (حداکثر حدود ۷۵ متر) معمولاً از بولدوزر استفاده می‌شود. این دستگاه به ویژه برای برداشتن لایه سطحی در عملیات خاکبرداری کم عمق مناسب است. خاک حفر شده در میان پشته‌های خاکی (ریسه) به جلو رانده می‌شود تا حتی‌الامکان مواد بیشتری در جلوی تیغه باقی بماند. به این روش کار، خاکبرداری شیاری گفته می‌شود. برای مسیرهای متوسط (بین ۲۰۰-۱۰۰ متر) چنانچه مواد را بتوان به راحتی شخم زد اسکرپرها، که در صورت لزوم به وسیله تراکتور چرخ‌لاستیکی کشیده می‌شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

برای مسیرهای طولانی بیش از ۲ یا ۳ کیلومتر یک دستگاه خاکبرداری نظیر بیل مکانیکی یا لودر همراه با واحدهای بارکش مستقل ترجیح داده می‌شوند. لازم به ذکر است در زمانی که برای کارهای مجزای کوچک از سیستم حمل خاک مستقل استفاده می‌شود، باید دیگر روشهای ساده بارگیری را نیز مدنظر قرار داد. در این حالت کار بارگیری مواد حفر شده را می‌توان به کمک بولدوزر، لودر یا اسکرپرها، کوچک در پیوند با سکوها، بارگیری بلند به روش بسیار اقتصادی انجام داد، البته به شرطی که مقدار این مواد استقرار سکوی بارگیری را توجیه کند. (یعنی حجم عملیات به قدری زیاد باشد که از نظر اقتصادی استقرار سکوی بارگیری از سیستم لودر بهتر باشد).

- انتقال مواد حفاری:

انتقال مواد حاصل از حفاری یکی از مهمترین مسائل موجود در عملیات خاکی می باشد. انواع فراوانی از وسایل حمل و نقل مواد خاکی حفاری شده وجود دارند که شامل کامیون، تسمه نقاله، اسکرپور و ریل و واگن می باشند. گرچه از اسکرپور می توان برای حمل مواد استفاده نمود، ولی این ماشین هم برای کندن و هم حمل مواد حاصل از حفاری طراحی شده است.

تسمه نقاله نیز در محل مواد حفاری شده می تواند استفاده شود. سیستم تسمه نقاله یا برای حمل مواد در فاصله محدودی در کارگاه عملیات خاکی برپا می شود و یا قسمتی از یک سیستم حفاری نظیر لودر همراه با تسمه نقاله می باشد. با این همه در بعضی اوقات که حجم پروژه ایجاب می کند (نظیر حفاری در معادن ذغال سنگ یا سنگ آهن) سیستم های عظیم تسمه نقاله با سرمایه زیاد تعبیه می شوند تا مقادیر بسیار زیادی از مواد حاصل از حفاری را جابجا نمایند.

خط آهن هم در حمل مواد خاکی استفاده می شود. سیستم های ریلی و باربری فقط در مورد پروژه های سنگین و اگر ریل در محل حفاری و تخلیه وجود داشته باشد، می تواند جالب توجه باشد. اگرچه در بسیاری موارد ریل های موقت نیز در کارگاه احداث می گردد. گذشته از سیستم های یاد شده، معمول ترین روش حمل و تخلیه مواد خاکی در پروژه های عمرانی استفاده از کامیون می باشد. کامیونها در مورد حمل مواد دارای انعطاف پذیری زیادی بوده و بخصوص بر روی انواع جاده با سهولت بسیار بین پروژه های مختلف قادر به تحرک می باشند.

- بسترسازی:

بسترسازی یا اصلاح سطح پستی و بلندی ها را با ماشین آلات مختلفی می توان انجام داد. چنانچه ایجاد یک سطح هموار کافی باشد، از بولدوزر نیز می توان استفاده کرد، اما این دستگاه را معمولاً جزء تجهیزات بسترسازی در نظر نمی گیرند. از طرف دیگر اسکرپورها در دستان افراد کارآموده ابزار بسیار موثری هستند و در شیبهای حداکثر ۱ در ۲ سطح همواری به وجود می آورند. کار بسترسازی چنانچه با بیل های کششی (دراگلاین) و توسط فرد ماهری انجام شود، نتایج رضایت بخشی خواهد داشت. در بسیاری موارد به ویژه در کار راه سازی از گریدر به عنوان ابزار بسترسازی و نگهداری سطح صاف جاده ها، شانه های جاده و نهرهای جانبی استفاده می شود. از گریدرها همچنین می توان برای پخش مواد بر روی خاکریزها استفاده کرد، اما به خاطر فاصله زیاد دو محور عقب و جلوی دستگاه، حرکت آنها در شیبهای تند با مشکل روبرو می شود و برای این منظور مناسب نیستند.

- تراکم:

متراکم کردن نقاط خاکریزی و توده های خاک با عبور واحدهای حمل و انواع مختلف غلتکهای انجام می شود که یا با نیروی محرکه خود حرکت می کنند و یا به دنبال تراکتورها، یدک کشیده می شوند. هنگام متراکم کردن خاک باید مقدار مجاز صحیحی برای تراکم خاک در نظر گرفت، زیرا مواد بعداً حجم کمتری را نسبت به حجم فعلی خود در مکان خاکبرداری اولیه اشغال خواهند کرد. نوع غلتک مورد استفاده (چرخ لاستیکی، پاچه بزی، شبکه ای، فولادی صاف) و یا غلتکهای ویبره و تعداد دفعات ضروری عبور غلتک به مقدار تراکم مورد نیاز و نوع بستر خاکی بستگی دارد.

۳-۲-۳- اندازه گیری حجم عملیات:

در صنعت ساخت و ساز کلمه تولید دارای معنای مشابهی با خروجی کار می باشد که در لغت به معنی میزان کار انجام شده در زمان مشخص است. تولید در عمل ممکن است از ۳ دیدگاه مورد توجه قرار گیرد:

- بر اساس نیاز کاری کل. (به عنوان مثال اگر برنامه زمانبندی برای ۲۰۰ روز کار به منظور انتقال ۱,۰۰۰,۰۰۰ متر مکعب خاک تنظیم شده باشد میزان تولید ماشین آلات پیمانکار باید ۵,۰۰۰ متر مکعب در روز باشد.)
- میزان تولید یک ماشین مشخص، برای تعیین تعداد ماشین آلات مورد نیاز در نظر گرفته شود. (به عنوان مثال برای جابجایی ۵۰۰۰ متر مکعب خاک در روز به ۱۰ اسکرپور با ظرفیت تولید ۵۰۰ متر مکعب بر روز نیاز می باشد.)
- میزان تولید برای هزینه، این میزان باید بسیار دقیق بوده و بدین منظور نیاز به مشخص بودن ماشین آلات می باشد. اندازه گیری حجم عملیات خاکی ممکن است بر حسب نیاز و شرایط موجود بر اساس موارد زیر محاسبه شود:

– اندازه گیری عملیات انجام شده بر اساس حجم:

لازم به ذکر است اکثر کارهای عملیات خاکی بر اساس حجم اندازه گیری می شوند. حجم محاسبه شده ممکن است در مورد خاک کنده نشده، کنده شده و یا متراکم شده باشد.

– اندازه گیری عملیات انجام شده بر اساس وزن:

در مورد معادن، وزن واحد اندازه گیری میزان عملیات انجام شده می باشد. محصولاتی از قبیل سنگدانه های مصرفی، سیمان و غیره نیز معمولاً بر اساس وزن اندازه گیری می شوند.

– اندازه گیری عملیات انجام شده بر اساس سطح:

در بسیاری مواقع وزن و حجم نمی توانند معیار خوبی برای ارزیابی کار انجام شده باشند. به عنوان مثال در بوته کنی و ریشه کنی زمین، زمان و هزینه پاکسازی در هر منطقه عملیاتی متفاوت است. از این رو بوته کنی و ریشه کنی معمولاً بر اساس اندازه سطح پاکسازی شده گزارش می شود. همچنین در مواردی که ضخامت عملیات مشخص و تعیین شده باشد از معیار سطح استفاده می شود. عملیات تراکم و تسطیح در این دسته قرار می گیرد.

– اندازه گیری عملیات انجام شده بر اساس طول:

در کارهایی از قبیل ایجاد زهکش ها و کانالها که در طول وسیع ابعاد مقطع تغییر نمی کند، ممکن است حجم عملیات بر اساس میزان طول کار انجام شده مورد محاسبه قرار گیرد.

۳-۳-۳- برآورد عملیات خاکی

تخمین میزان عملیات مورد نیاز برای انجام کار هنگام برآورد احجام فعالیت های پروژه، همچنین تعیین میزان کار انجام شده برای پرداخت به پیمانکار و نیز میزان خاک برداشت شده از یک معدن نیازمند استفاده از روشهایی برای برآورد میزان عملیات خاکی می باشد. این برآورد بسته به اینکه خاک مورد نظر در چه وضعیتی قرار دارد عموماً به صورت تقریبی انجام می شود و دقت نتایج حاصله به تعداد نقاطی که در واحد سطح، ارتفاع آنها اندازه گیری شده است بستگی کامل خواهد داشت. این کار به روشهای مختلفی انجام می شود که در ادامه شرح داده شده است.

– تعیین حجم با استفاده از منحنی های تراز:

این روش که دقت آن بستگی کامل به فاصله خطوط تراز و نیز دقتی که در تعیین و ترسیم این خطوط به کار رفته دارد، در مواردی که حجم عملیات بسیار زیاد باشد، مثلاً در ساختمان مخازن و سدهای خاکی و معادن روباز، بسیار ارزشمند است. همچنین در

مراحل اولیه پروژه های مسیر سازی (جاده، راه آهن، کانال و غیره) برای برآورد اولیه هزینه ها و مقایسه چند مسیر و انتخاب بهترین پروفیل نیز این روش دارای اهمیت خاص می باشد.

این روش اصولاً بر این اساس استوار است که حجم توده خاک مورد نظر در امتداد سطوح تراز به یک سری اجسام منشوری که قاعده های فوقانی و تحتانی آن افقی است، تقسیم می گردد. ارتفاع این منشورها برابر با فاصله قائم خطوط تراز خواهد بود و همانطور که ذکر شد، سطوح فوقانی و تحتانی آن محدود به خطوط تراز در ارتفاع مورد نظر می باشد. سطح داخل خطوط تراز با استفاده از پلانیمتر یا هر وسیله مناسب دیگر از روی نقشه تعیین می شود.

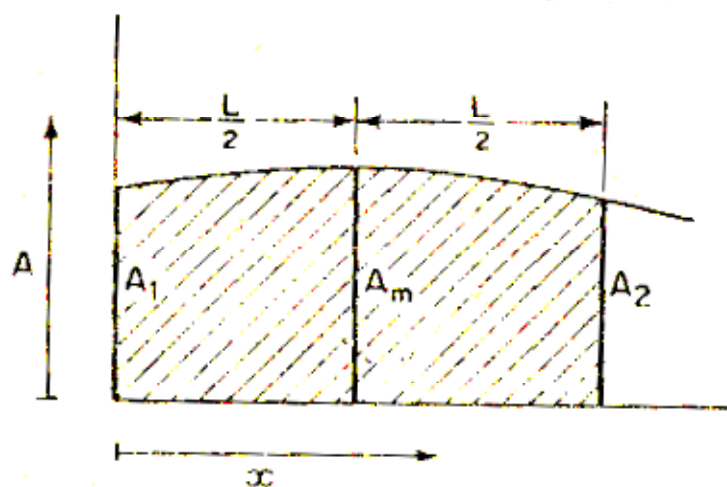
اگر در اینجا بخواهیم قانون منشوری را در مورد هر یک از منشورها بطور جداگانه مورد استفاده قرار دهیم، در این صورت لازم است که خطوط تراز را در وسط دو خط تراز فوقانی و تحتانی نیز با روش درونیابی تعیین و ترسیم نموده، سپس با اندازه گیری سطح محدود شده به این خطوط تراز جدید مساحت مقطع عرضی متوسط در وسط دو سطح فوقانی و تحتانی را برای هر یک از منشورها تعیین کنیم. با این حال، معمولاً کافی است که منشورها را به صورت زوج زوج در نظر گرفته و با استفاده از قاعده سیمسون حجم را محاسبه نمود. حجم قسمتهایی از جسم که به وسیله دو سطح تراز در بر گرفته نشده است باید جداگانه و با استفاده از نزدیک ترین شکل هندسی به حجم قسمت مورد نظر، تعیین گردد. با توجه به شکل ۳-۱ (فاصله قائم خطوط تراز = ۱۰ متر)، با استفاده از قانون "سطح - انتهای" (End-Area Rule) خواهیم داشت:

$$V = \frac{1}{4} [A_{1r} + 2(A_{1r} + A_{1c} + A_{1o}) + A_{1l}] + \frac{1}{3} A_{1r}$$

سطح زیر یک منحنی را می توان بطور تقریب از روی قانون سیمسون و با استفاده از عرض سه نقطه روی منحنی که متساوی الفاصله بوده و به فاصله $L/2$ از هم قرار دارند محاسبه نمود. با استفاده از این قانون حجم جسم برابر است با:

$$V = \left(\frac{L}{4}\right)(A_1 + 4A_m + A_2)$$

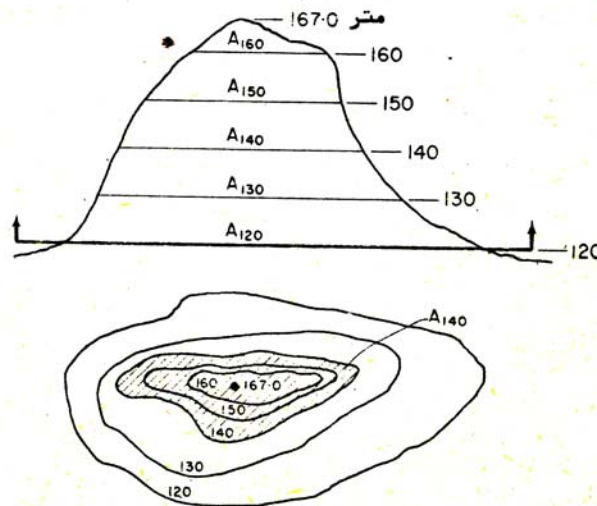
(تذکر: عبارت A_m است از مساحت مقطع عرضی در وسط فاصله بین دو سطح A_1 , A_2 . باید توجه داشت که این مقدار با مقدار متوسط این دو سطح متفاوت است.)



شکل ۳-۱- تعیین حجم با روش سطح- انتهای

با استفاده از قانون منشوری (یا قاعده سیمسون) می توان نوشت:

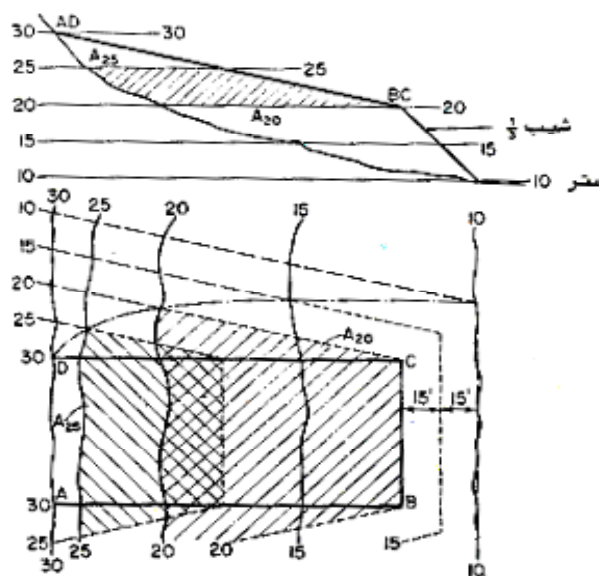
$$V = \frac{1}{3} [A_{120} + \epsilon A_{130} + 2A_{140} + \epsilon A_{150} + A_{160}] + \frac{V}{3} A_{160}$$



شکل ۳-۲- استفاده از منحنی های تراز برای تعیین حجم

هنگامی که پروفیل جدید (پروفیل سطح زمین بعد از پایان کار) یک سطح افقی نباشد، باید خطوط تراز جدید، بعد از اتمام کار را روی خطوط تراز زمین قدیمی تلفیق نمود و در این صورت سطوح انتهایی منشور عبارت است از سطوح محدود شده بین خطوط تراز جدید و قدیمی برای ارتفاع مورد نظر.

در شکل ۳-۳ خطوط تراز جدید روی زمین بعد از ایجاد یک تراس که در مقطع عرضی نشان داده شده، با خطوط تراز تپه در حالت طبیعی (قبل از تغییر) تلفیق شده است و سطوح انتهایی منشور در ارتفاعات ۲۰ متری و ۲۵ متری نسبت به سطح مقایسه با هاشور مشخص گردیده است.



شکل ۳-۳- خطوط میزان پس از ایجاد تراس

در تمام عملیات های خاکی، معمولاً ترسیم خطوط تراز بعد از انجام کار احتیاج به تعمق و تفکر بیشتری دارد و نیازمند محاسبات تقریباً پیچیده ای می باشد.

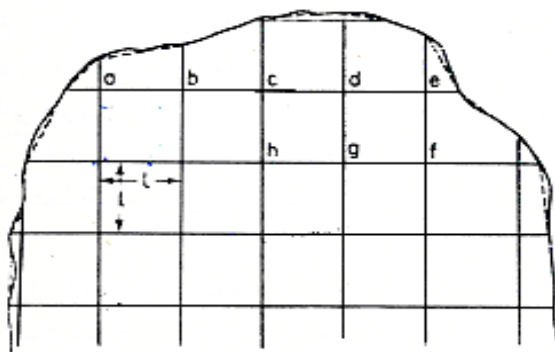
- تعیین حجم با استفاده از ارتفاع نقاط:

این روش که دقت آن بستگی به تراکم نقاطی که ارتفاع آن برداشت شده دارد، معمولاً برای کارهایی چون خاکبرداری های روباز و وسیع نظیر مخازن خاکی، عملیات تسطیح اراضی، زمین های بازی و یا محل ساختمان ها به کار برده می شود. با استفاده از روشهای فتوگرامتریک برای تعیین ارتفاع نقاط از روی عکس های هوایی و استفاده از کامپیوتر برای تجزیه و تحلیل اطلاعات، میتوان تعداد بسیار زیادی از نقاط ارتفاع دار را مورد استفاده قرار داد. این روش را می توان تقریباً برای هر نوع پروژه عملیات خاکی که ارتفاع نقاط فتوگرامتریک آن دارای دقت کافی باشد، به کار برد.

در روش های متداول زمینی، محل پروژه به وسیله یک سری خطوط متعامد که تشکیل مربعاتی می دهند (گاهی ممکن است مستطیل نیز تشکیل شود) شبکه بندی می شود و ارتفاع سطح زمین در محل نقاط تقاطع خطوط شبکه تعیین می گردد. همراه با این نقاط ارتفاع بعضی نقاط دیگر نیز که مورد نیاز باشد، نظیر نقاطی که پستی بلندی به طور ناگهانی تغییر کرده و سطح زمین نامنظم شده یا نقاطی از محدوده زمین مورد نظر که ارتفاع آن لازم باشد، برداشت می شود. فاصله خطوط شبکه به طبیعت و شکل زمین بستگی خواهد داشت و این خطوط باید آنقدر به هم نزدیک باشند که بتوان سطح زمین دو خط مجاور را به عنوان یک سطح مسطح در نظر گرفت.

ارتفاع نقاط پیشنهادی در گوشه های مربعات شبکه از روی نقشه های ترسیمی توسط طراح تعیین شده و حجم عملیات خاکی برای هر مربع برابر با مساحت سطح آن مربع ضرب در متوسط عمق خاک برداری یا خاک ریزی در چهار گوشه مربع در نظر گرفته می شود. حجم قطعات واقع بین خارجی ترین خط شبکه و مرز زمین مورد نظر برابر خواهد بود با مساحت سطح بین این دو خط، که معمولاً معادل با یک دوزنقه یا مثلث فرض می شود، ضرب در متوسط عمق در گوشه های شکل (به شکل ۳-۴ مراجعه شود). چون همه عمق های خاک برداری یا خاکریزی در نقاط تقاطع داخل خطوط شبکه در محاسبه حجم عملیات، برای بیش از یک مربع به کار برده می شوند. برای این منظور از فرمولی به صورت زیر می توان استفاده کرد.

$$V = \left(\frac{L^2}{4}\right)(\sum h_1 + 2\sum h_2 + 3\sum h_3 + 4\sum h_4) + \sum R$$



شکل ۳-۴ - تعیین حجم با استفاده از ارتفاع نقاط

که در آن:

L = طول ضلع هر مربع شبکه

h_1 = عمق نقاطی مثل a و e که فقط یک بار در محاسبات مورد استفاده قرار می‌گیرند.
 h_2 = عمق نقاطی مثل b و c و d که دو بار در محاسبات مورد استفاده قرار می‌گیرند.
 h_3 = عمق نقاطی مثل f که سه بار در محاسبات مورد استفاده قرار می‌گیرند.
 h_4 = عمق نقاطی مثل g و h که چهار بار در محاسبات مورد استفاده قرار می‌گیرند.
 R = حجم قسمتهای دوزنقه‌ای و مثلثی نامنظم که باید بطور مجزا محاسبه شود.

چنانچه در داخل یک شبکه تغییر از خاکبرداری به خاکریزی و یا بالعکس موجود باشد، مساله پیچیده‌تر خواهد بود (به شکل ۳-۴)

مراجعه شود)، هرگاه $h_1 = -h_4$ و $h_2 = -h_3$ محاسبه از طریق فرمول قبل یعنی:

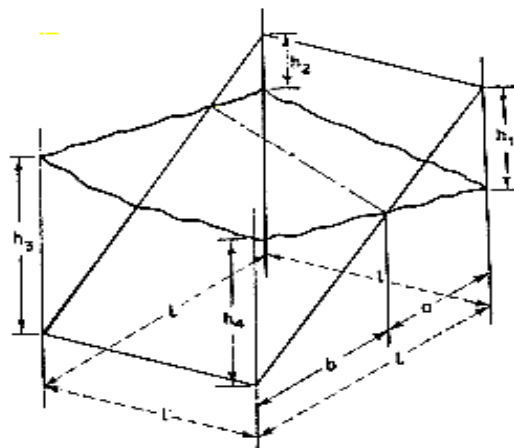
$$V = l * l (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) / 4$$

که مقدار حجم عملیات خاکی در یک مربع را معادل صفر نشان خواهد داد، که البته واضح است این محاسبه غلط می‌باشد. زیرا

محاسبه فوق حجم خالص عملیات خاکبرداری یا خاکریزی (هر کدام که بزرگتر باشد) را مشخص خواهد نمود. اگر خطوط شبکه خیلی به هم نزدیک باشند، فرمول فوق را بصورت زیر می‌توان نوشت:

$$V_{\text{cut}} = \frac{l^2 (h_1 + h_2 + \dots)}{4}$$

$$V_{\text{fill}} = \frac{l^2 (\dots + h_3 + h_4)}{4}$$



شکل ۳-۵- محاسبه حجم خاکبرداری و خاکریزی

به هر حال هر گاه فاصله خطوط شبکه زیاد باشد، باید محاسباتی نظیر عملیات زیر انجام داد. (اگر ۳ راس از عمق گوشه‌های

شکل دارای علامت‌های متفاوت نسبت به گوشه چهارم داشته باشند، باید آنرا اصلاح نمود) اگر فرض کنیم که زمین مسطح باشد.

$$a = \frac{lh_1}{(h_1 - h_4)} \quad , \quad b = lh_2 (h_2 - h_3), \dots$$

(تذکر: چون h_3, h_4 منفی هستند، پس $h_1 - h_4$ برابر خواهد بود با جمع عددی h_1 و h_4 و به همین ترتیب تا آخر) با استفاده از

قانون سطح انتهایی خواهیم داشت:

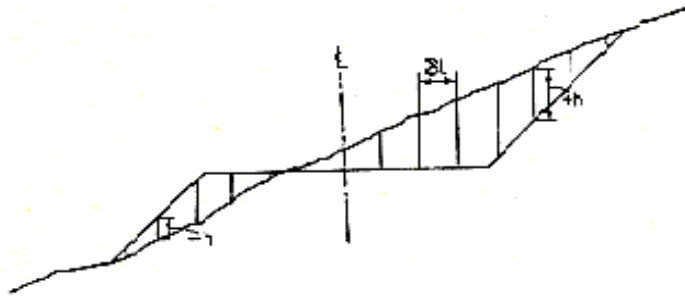
$$V_{\text{cut}} = \frac{l^2}{4} \left(\frac{h_1^2}{h_1 - h_4} + \frac{h_2^2}{h_2 - h_3} \right)$$

$$V_{\text{fill}} = \frac{l^2}{\xi} \left(\frac{h_{\xi}^2}{h_1 - h_{\xi}} + \frac{h_r^2}{h_r - h_{\xi}} \right)$$

واضح است که اگر مقدار زیادی از این مربعات در دست باشد انجام عملیات محاسباتی بسیار سنگین بوده و به کار زیادی نیاز خواهد داشت و حتی اگر شیب زمین نسبتاً یکنواخت باشد، استفاده از شبکه‌ای با فواصل کمتر مقرون به صرفه‌تر خواهد بود.

- تعیین حجم عملیات خاکی با استفاده از مقاطع عرضی

این روش تنها روشی است که به میزان وسیعی و برای همه نوع پروژه‌های مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد و به ویژه برای پروژه‌های راه‌سازی، راه آهن و کانال‌های انتقال آب و غیره بسیار مناسب می‌باشد. در این روش مقاطع عرضی در امتداد خطوطی عمود بر محور اصلی مسیر تعیین شده و حجم بین مقاطع عرضی مجاور به صورت یک منشور فرض می‌شود و با استفاده از مساحت مقاطع عرضی در دو انتها یا مقطع عرضی متوسط محاسبه می‌گردد. در نقشه برداری مسیرها معمولاً بهتر است که مقاطع عرضی در نقاطی که فاصله از مبداء آنها ارقام رندی است، گرفته شود. البته در نقاطی که شکستگی یا نا همواری غیر معمولی پیش آید باید یک مقطع عرضی اضافه تهیه شود. وقتی که سطح زمین خیلی نامنظم باشد بهترین راه این است که پروفیل زمین در حالت موجود و پروفیل طرح پیشنهادی را با مقیاس مناسبی ترسیم و مساحت مقاطع عرضی را با استفاده از پلانیمتر یا کاغذ شطرنجی یا رایانه تعیین نمود. باید توجه داشت که در چنین مواردی مرسوم آن است که برای وضوح بیشتر در مقیاس قائم مقطع عرضی به میزان زیادی اغراق شده و این مقیاس چندین برابر مقیاس طولی گرفته می‌شود. در صورت استفاده از این روش برای محاسبه سطح مقاطع عرضی، این نکته باید در نظر گرفته شود.



شکل ۳-۶- تعیین حجم عملیات خاکی با استفاده از مقاطع عرضی

وقتی که سطح زمین به میزان قابل قبولی منظم باشد و پروفیل‌های عرضی زمین را بتوان به نحو رضایت بخشی با شیب یکنواخت نشان داد، در این صورت می‌توان با استفاده از فرمول مناسبی برای محاسبه سطوح مقاطع عرضی، کار را بسیار سریع‌تر انجام داد.

همان‌طور که در قسمت قبل اشاره شد، استفاده از ارتفاعات فتوگرامتریک همراه با استفاده از کامپیوتر می‌تواند با این روش کمک بسیار نماید. در چنین حالتی، سطح مقاطع عرضی را می‌توان با استفاده از یک سری نقاط ارتفاع دار متساوی الفاصله به دست آورد. همان‌طور که در شکل ۳-۵ دیده می‌شود، اگر عمق عملیات در نقاطی تعیین شود که فاصله بین آنها δl به اندازه کافی کوچک باشد، سطوح مقطع عرضی را می‌توان از رابطه زیر تعیین نمود.

$$A_{\text{cut}} = \delta L \sum(+h)$$

$$A_{\text{fill}} = \delta L \sum(-h)$$

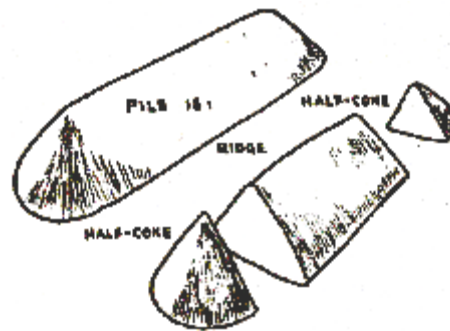
چون عمق بعد از مقطع انتهایی صفر خواهد بود، احتیاجی به تعیین عرض کلی مقطع به طور مستقل نیست.

- استفاده از نرم افزارهای رایانه ای در تعیین حجم خاک

با استفاده از نرم افزارهای موجود نیز می‌توان حجم خاک را محاسبه نمود. این نرم افزارها با استفاده از نقشه های توپوگرافی و محاسبه احجام این نقشه ها حجم خاک مورد نظر را با دقت بالایی دست می‌دهند.

- تعیین حجم توده خاک

معمولاً افراد با تجربه می‌توانند با مشاهده توده خاک، حجم آنرا بدون محاسبات ریاضی تخمین بزنند. با این وجود اکثر مهندسين، انجام محاسبات ریاضی با توجه به شکل توده خاک را روش مطمئن تری برای برآورد حجم توده خاک می‌دانند. به منظور محاسبه حجم توده خاک معمولاً آنرا با اشکال منظمی که بتوان حجم آنرا پیدا کرد تقسیم کرده با محاسبه تک تک احجام، حجم کل توده خاک را از مجموع احجام محاسبه شده بدست می‌آورند. به عنوان مثال خاکهای خشک از دو نیم مخروط و یک منشور مثلثی شکل تشکیل یافته‌اند. تفکیک این نوع توده خاک در شکل شماره ۳-۷ نشان داده شده است.



شکل ۳-۷- تفکیک توده خاک

- نحوه محاسبه ابعاد خاکریز

گاهی در عملیات خاکی لازم می‌شود که ابعاد خاکریزهایی که از انبار کردن مواد کنده شده خاکی به وجود می‌آیند محاسبه شود. باید توجه داشت که مواد موجود در اینگونه خاکریزها در حالت سست (LCM) بوده و بنابراین باید حجم خاک طبیعی که بر حسب (BCM) هستند تبدیل به (LCM) شوند. تعریف اصطلاحاتی نظیر حجم خاک به صورت طبیعی (BCM) و حجم خاک به صورت سست (LCM) در بخش بعد بیان شده است.

۳-۳-۴- مشخصات انواع خاک :

خاکها در موارد متعددی و در بسیاری از عملیات های ساخت به کار می‌روند و برای تقویت بستر ساختمانها، زیرسازی راهها و فرودگاهها و همچنین سدها و سیل بندها مورد استفاده قرار می‌گیرند. بعضی از خاکها در صورتیکه به وضع طبیعی مورد استفاده قرار گیرند ممکن است مناسب باشند، در صورتیکه بعضی دیگر باید بعد از خاکبرداری و عمل آوری و بهسازی برای هدفی که پیش‌بینی شده است، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

- خواص خاک:

قبل از بحث در مورد تهیه خاک و آنالیز کردن مسائل درگیر با عملیات خاکی، آشنایی بیشتر با بعضی از خواص فیزیکی خاک بسیار مهم می‌باشد. این خواص دارای تاثیر مستقیم بر روی تهیه و انتخاب نوع خاک، انتخاب ماشین‌آلات و میزان تولید ماشین‌آلات می‌باشند.

از آنجایی که حجم و وزن مخصوص خاک هنگام حفاری، حمل، ریختن و تراکم تحت تاثیر تغییرات نسبتاً زیادی قرار می گیرد، آشنایی با خواص خاک در وضعیتهای متفاوت به منظور تعیین صحیح حجم خاک در عملیاتهای گوناگون لازم می باشد.

الف - خاک در حالت طبیعی (کنده نشده):

حجم خاک طبیعی عبارت از حجم خاک اندازه گرفته شده در محل قرضه، نهر، کانال و ترانشه قبل از کندن آن می باشد. این حجمی است که معمولاً پرداختها براساس آن تعیین می گردد و با محاسبات هندسی قابل دستیابی است. واحد حجم خاک در این حالت بر حسب مترمکعب قرضه بیان می شود. (BCM^۱)

ب - خاک سست (کنده شده):

خاک پس از کنده شدن و خاکبرداری و یا در هنگام بارگیری سست تر از زمانی است که در حالت طبیعی در قرضه وجود دارد و حجمش اضافه می گردد. واحد حجم خاک در این حالت بر حسب مترمکعب سست بیان می گردد. (LCM^۲)

ج - خاک متراکم (کوبیده):

خاک پس از تراکم حجمش کمتر می شود. در ایران برای محاسبه احجام قابل پرداخت بر مبنای فهارس بها، حجم کوبیده شده ملاک قرار می گیرد. (CCM^۳)

- ضریب تورم خاک:

وقتی خاک کنده می شود معمولاً به حجمش افزوده می گردد. بطوریکه خاک موجود در یک مترمکعب قرضه، پس از خاکبرداری، حجمی بیشتر از یک متر مکعب اشغال خواهد کرد. این افزایش حجم خاک در اثر خاکبرداری را تورم خاک می نامند. رابطه زیر برای تعیین تورم یا ضریب افزایش خاک به کار می رود:

$$\text{ضریب تورم (درصد)} = \left(\frac{\text{وزن متر مکعب طبیعی}}{\text{وزن متر مکعب سست}} - 1 \right) \times 100$$

- ضریب انقباض:

حجم خاک در اثر تراکم تقلیل می یابد. به طوریکه یک وزن معین خاک پس از تراکم حجم کمتری را نسبت به زمان حالت طبیعی خاک اشغال خواهد نمود. این تقلیل حجم را انقباض خاک می گویند. رابطه زیر برای تعیین انقباض خاک به کار می رود:

$$\text{ضریب انقباض (درصد)} = \left(1 - \frac{\text{وزن متر مکعب طبیعی}}{\text{وزن متر مکعب متراکم}} \right) \times 100$$

ضرایب تقریبی تبدیل حجم خاک در جدول شماره (۳-۱) نشان داده شده است. به طور مثال اگر وزن خاکی در حالت طبیعی 1700 kg/m^3 ، در حالت سست (پس از حفاری) 1360 kg/m^3 و در حالت متراکم شده (پس از کوبیده شدن) 1889 kg/m^3 باشد ضرایب تورم و انقباض آن به شرح زیر خواهد بود:

$$\text{ضریب تورم} = \left(\frac{1700}{1360} - 1 \right) = 25\%$$

^۱ BCM – Bank Cubic Meter

^۲ LCM-Loose Cubic Meter

^۳ CCM-Compacted Cubic Meter

$$\text{ضریب انقباض} = (1 - 1700/1889) = 10\%$$

در شکل ۳-۸ مقادیر این ضرایب نشان داده شده است.



شکل ۳-۸- تغییر حجم مواد خاکی پس از خاکبرداری و تراکم

جدول ۳-۱- ضرایب تبدیل خاک

نوع خاک	شرایط اولیه خاک	در محل طبیعی	تبدیل به حالت سست	متراکم
رس	در محل قرضه	۱/۰۰	۱/۲۷	۰/۹۰
	سست	۰/۷۹	۱/۰۰	۰/۷۱
	متراکم	۱/۱۱	۱/۴۱	۱/۰۰
زمین معمولی	در محل قرضه	۱/۰۰	۱/۲۵	۰/۹۰
	سست	۰/۸۰	۱/۰۰	۰/۷۲
	متراکم	۱/۱۱	۱/۳۹	۱/۰۰
سنگ شکسته	در محل قرضه	۱/۰۰	۱/۵۰	۱/۳۰
	سست	۰/۶۷	۱/۰۰	۰/۸۷
	متراکم	۰/۷۷	۱/۱۵	۱/۰۰
ماسه	در محل قرضه	۱/۰۰	۱/۱۲	۰/۹۵
	سست	۰/۸۹	۱/۰۰	۰/۸۵
	متراکم	۱/۰۵	۱/۱۸	۱/۰۰

۳-۴- راندمان اسمی و واقعی ماشین آلات

تولید واقعی ماشین آلات با توجه به تاثیر شرایط کارگاهی، نحوه مدیریت و عوامل موثر موجود در کارگاه‌های هر کشور، تغییر می‌کند. این تولید معمولاً از میزان اسمی کمتر بوده و تحت شرایط کارگاهی به دست می‌آید. ولی برای به دست آوردن راندمان اسمی روشهای مختلفی پیشنهاد شده است که در ادامه بیان می‌گردد.

۳-۴-۱- محاسبه حجم عملیات خاکی بیل مکانیکی:

با استفاده از فرمول زیر و همچنین یافتن متغیرهای این فرمول از طریق مطالب شرح داده شده می توان حجم عملیات خاکی بیل مکانیکی را محاسبه نمود.

$$Q = \frac{60 \times C \times E \times D \times K}{T \times F}$$

Q = حجم عملیات خاکی در یک ساعت (m^۳/hr)

T = زمان یک دوره کامل عملیات بر حسب دقیقه

C = ظرفیت جام بیل مکانیکی (m^۳)

E = بازده بیل مکانیکی (میزان زمان کار مفید در یک ساعت)

F = ضریب تورم خاک

D = ضریب میزان مهارت راننده

K = ضریب راندمان جام

به منظور یافتن موارد ذکر شده، به طریق زیر عمل می شود:

۱- محاسبه زمان یک دوره کامل عملیات (T):

زمان حفاری کل برای بیل مکانیکی متشکل از ۴ زمان است:

- ۱- پر کردن جام
- ۲- چرخش با جام پر از محل کار به محل استقرار کامیون
- ۳- خالی کردن جام
- ۴- چرخش با جام خالی به محل اولیه برای ادامه حفاری

زمان حفاری کل بستگی به اندازه ماشین (ماشینهای کوچکتر سریعتر از ماشینهای بزرگ عمل می کنند)، موقعیت کاری و جنس خاک دارد. این زمان حفاری را می توان با استفاده از جداول تخمین زمان برای بیلهای مختلف بدست آورد. این جداول توسط کارخانه سازنده تهیه و در اختیار کاربران قرار داده می شود. یک نمونه از این جداول از شرکت کاترپیلار در جدول شماره (۳-۲) نشان داده شده است.

جدول ۳-۲- زمان قسمت های مختلف عملیات کاری بیل مکانیکی شرکت کاترپیلار

Cycle Time Estimating Chart

Model	307C	311C	312C, 312C L	315C, 315C L	317B L, 317B LN	318B L, 318B LN	M312	M315	M318	M320
Bucket Size L (yd ³)	280 0.37	450 0.59	520 0.68	520 0.68	520 0.68	800 1.05	810 0.80	750 0.98	900 1.18	1050 1.37
Soil Type	← Packed Earth					→ Sand/Gravel				
Digging Depth (m) (ft)	1.5 5	1.5 5	1.8 6	3.0 10	3.0 10	3.0 10	3.0 10	3.0 10	3.0 10	3.0 10
Load Bucket (min)	0.08	0.07	0.07	0.10	0.10	0.09	0.05	0.06	0.06	0.08
Swing Loaded (min)	0.05	0.06	0.08	0.04	0.04	0.08	0.05	0.05	0.06	0.06
Dump Bucket (min)	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04
Swing Empty (min)	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.08	0.04	0.04	0.05	0.05
Total Cycle Time (min)	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21	0.25	0.17	0.18	0.20	0.23

Cycle Time Estimating Chart

Model	320C	322C	325B	330B	345B Series II	365B	375
Bucket Size L (yd ³)	800 1.05	1000 1.31	1100 1.44	1400 1.83	2400 3.0	1900 2.5	2800 3.66
Soil Type	← Hard Clay				→		
Digging Depth (m) (ft)	2.3 8	3.2 10	3.2 10	3.4 11	4.0 13	4.2 14	5.2 17
Load Bucket (min)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.13	0.10	0.11
Swing Loaded (min)	0.08	0.08	0.06	0.07	0.07	0.09	0.10
Dump Bucket (min)	0.03	0.04	0.04	0.04	0.02	0.04	0.04
Swing Empty (min)	0.05	0.06	0.06	0.07	0.06	0.07	0.09
Total Cycle Time (min)	0.23	0.25	0.25	0.27	0.28	0.30	0.34

با توجه به نوع خاک، بیل مکانیکی مورد استفاده، ظرفیت جام و همچنین نحوه عملکرد و میزان زاویه دوران بیل در حین کار می‌توان زمان انجام عملیات را از اینگونه جداول برداشت نمود.

۲- بازده بیل مکانیکی (E):

این بازده به چگونگی مدیریت و سرپرستی کار، مهارت راننده در شرایط محیطی و محل بستگی دارد و عبارتست از:

$$E = \frac{\text{میزان زمان واقعی انجام کار}}{\text{میزان زمان صرف شده}}$$

۳- ضریب تورم خاک (f):

هنگام انجام عملیات خاکی، خاکی که برداشت می‌شود تغییر حجم داده و حجمش افزایش می‌یابد. به همین دلیل ضریب تورم خاک در این فرمول پیش بینی شده است. این ضریب را برای خاک های مختلف می‌توان از جدول (۳-۲) برداشت نمود.

۴- یافتن ضریب راندمان جام بیل مکانیکی (K):

با توجه به این که نوع خاکی که روی آن عملیات انجام میشود، بر میزان پر شدن جام بیل مکانیکی تاثیر دارد، این تاثیر در میزان تولید ماشین در نظر گرفته شده است. با استفاده از جدول شماره (۳-۳) می‌توان ضریب راندمان جام بیل‌های مکانیکی را یافت:

جدول ۳-۳- ضریب راندمان جام

ضریب راندمان جام (%)	نوع مواد
۱۰۰-۱۱۰	زمین طبیعی
۹۵-۱۰۰	دانه بندی مخلوط دانه بندی یکنواخت :
۹۵-۱۰۰	تا ۱/۸ اینچ
۹۰-۹۵	۱/۸ تا ۳/۴ اینچ
۸۵-۹۰	بالای ۳/۴ اینچ موارد به هم چسبیده :
۸۵-۹۵	خوب خرد شده
۷۰-۸۰	متوسط
۶۰-۷۰	بد خورد شده

۵- تعیین میزان مهارت راننده (D)

ضریب مهارت راننده را می توان از جدول ۳-۴ استخراج نمود:

جدول ۳-۴- ضریب مهارت راننده

مهارت راننده	ضریب
خوب	۱
متوسط	۰٫۹
ضعیف	۰٫۸

مثال:

برای کندن و برداشتن خاکی که کندنش نسبتاً آسان است، از بیل مکانیکی ۳۱۲C شرکت کاترپیلار استفاده شده است. هرگاه زاویه استقرار بیل با جبهه عملیات ۹۰ درجه بوده و تعداد کافی کامیون در اجرای عملیات شرکت داده شده باشد مدت اجرا را برای ۱۰۰۰۰ متر مکعب خاکبرداری محاسبه کنید.

بازده بیل ۰/۸

ضریب تورم ۱/۲۷

ضریب جام ۰/۹

حل: زمان اجرا با توجه به جدول ۱ برابر با ۰/۲۱ دقیقه به دست می آید. با مراجعه به کاتالوگ ماشین ظرفیت جام این نوع بیل

۰/۷ متر مکعب می باشد.

$$(0/8 * 0/9 * 60 * 0/7) / (0/21 * 1/27) = 113/3$$

$$10000 / 113/3 = 88$$

معادل ۱۱ روز کاری

۳-۴-۲- محاسبه حجم عملیات خاکی گریدر:

مقدار تولید گریدر معمولاً بر حسب مقدار سطح کار بیان می‌شود. واحد مقدار کار متر مربع در ساعت و یا به صورت خطی (کیلومتر در ساعت) می‌باشد. برای تعیین مقدار کار ساعتی گریدر ابتدا باید زمان لازم برای اجرای عملیات را حدس زده و بر اساس آن حجم عملیات ساعتی را محاسبه نمود. این زمان را با فرمول زیر می‌توان تخمین زد:

$$T = \frac{P * D}{E * S}$$

T = مدت اجرای عملیات (ساعت)

P = تعداد عبور لازم

D = مسافت طی شده در هر عبور (کیلومتر)

E = بازده گریدر

S = سرعت حرکت گریدر در طول عملیات (کیلومتر در ساعت)

۱- تعداد عبور لازم (P)

تعداد دفعاتی که گریدر برای اجرای کامل عملیات باید در مسیر خود عبور نماید، تعداد عبور لازم نامند. این تعداد بستگی به مهارت راننده گریدر دارد و به همین جهت رقم معینی نمی‌توان ارائه کرد. از آنجا که هر عبور اضافی ممکن است تا ۲۵ درصد مدت اجرای عملیات را بالا ببرد، لازم است که از هرگونه عبور اضافی جلوگیری شود.

۲- مسافت طی شده در هر عبور (D)

مسافتی است که گریدر برای انجام عملیات معینی طی می‌نماید. (بر حسب کیلومتر)

۳- بازده گریدر (E)

نسبت زمان واقعی انجام کار به زمان مصرف شده برای اجرای آن را بازده گریدر نامند. این بازده متغیر بوده و بستگی به طرز مدیریت و سرپرستی در کارگاه، مهارت راننده، شرایط و تسهیلات در تعمیرات و نگهداری و بالاخره شرایط محلی دارد.

$$E = \frac{\text{میزان زمان واقعی انجام کار}}{\text{میزان زمان صرف شده}}$$

۴- سرعت حرکت (S)

سرعت حرکت گریدر را در حین اجرای عملیات، سرعت حرکت آن می‌نامند این سرعت بستگی به مهارت راننده، نوع کار، مشخصات ماشین و شرایط زمین دارد.

نکته‌ای که باید به آن توجه داشت آنست که از نظر اقتصادی باید همیشه سرعت حرکت گریدر حداکثر ممکن انتخاب شود. در جدول شماره ۳-۵ سرعت گریدر در شرایط مختلف داده شده است.

جدول ۳-۵- سرعت گیردر در شرایط مختلف

کندن جوی	۶-۴ کیلومتر در ساعت
شیب خاکریز	۴ کیلومتر در ساعت
ترمیم راه	۸-۶ کیلومتر در ساعت
فینیشینگ و رویه کار	۱۲-۶ کیلومتر در ساعت
پخش کردن مواد	۱۲-۸ کیلومتر در ساعت
مخلوط کردن مواد	۳۰-۱۲ کیلومتر در ساعت
برف‌روبی	۳۰-۱۸ کیلومتر در ساعت

با توجه به مطالب بالا، وقتی زمان اجرای عملیات بدست آمد، سطحی که عملیات روی آن انجام شده نیز محاسبه می‌گردد و با تقسیم سطح عملیات بر زمان اجرای آن میزان تولید ساعتی گیردر معلوم می‌شود. برای روشن شدن مطلب مثالی ارائه می‌گردد.

مثال:

برای مخلوط کردن و تسطیح و تنظیم رویه جاده‌ای شنی به طول ۱۰ کیلومتر و عرض ۸ متر از گیرداری که پهناي تیغه آن ۳/۵ متر می‌باشد استفاده می‌شود. با توجه به شرایط کار و جنس مواد خاکی، تخمین زده شده تعداد عبور لازم ۶ بار باشد به طوری که گیردر در عبورهای اول و دوم با دنده (۳) یعنی سرعتی معادل ۶ کیلومتر در ساعت و در عبورهای سوم و چهارم با دنده (۴) یعنی سرعتی معادل ۹ کیلومتر در ساعت و در دو عبور آخر با دنده (۵) یعنی سرعتی معادل ۱۲ کیلومتر در ساعت مسیر مورد نظر را طی کند. مطلوب است محاسبه مدت اجرای عملیات و حجم عملیات در یک ساعت (تولید ساعتی) این گیردر با فرض این که راندمان ۶۰٪ است.

حل:

چون هر نوار کار که از عبور تیغه گیردر ایجاد می‌شود، بایستی حداقل نیم‌متر روی نوار قبلی را بپوشاند، لذا از ۳/۵ متر پهناي تیغه گیردر ۳ متر آن مؤثر خواهد بود. با توجه به اینکه پهناي مسیر ۸ متر است، بنابراین طولی را که گیردر برای انجام عملیات باید طی نماید، سه برابر طول راه یعنی $3 \times 10 = 30$ کیلومتر است. عوامل دیگری که در فرمول مدت اجرای عملیات تأثیر دارند همگی معلوم می‌باشند.

مدت اجرای عملیات معادل:

$$T = \frac{P \times D}{S \times E} = \left(\frac{2 \times 30}{6 \times 0.6} + \frac{2 \times 30}{9 \times 0.6} + \frac{2 \times 30}{12 \times 0.6} \right) = 16.7 + 11.1 + 8.3 = 36.1 \text{ ساعت}$$

اگر مدت اجرای عملیات روزانه ۱۰ ساعت در نظر گرفته شود، کل مدت اجرا در حدود ۴ روز خواهد بود. سطحی که رویه آن مخلوط، تسطیح و تنظیم شده برابر است با:

$$S = 10 * 1000 * 8 = 80000 \text{ متر مربع}$$

$$\frac{80000}{40} = 2000 \text{ m}^2/\text{hr}$$

بنابراین مقدار عملیات در هر ساعت برابر است با:

سرعت‌های تیپ گیردر

در مورد مدیریت کار با گیردر توصیه‌های زیر برای بالا بردن مقدار تولید گیردر شده است:

- ۱- همواره از حداقل تعداد گذر برای پایان یک کار استفاده شود. در این مورد برنامه‌ریزی دقیق، نظارت هوشیارانه و رانندگان ماهر نیاز می‌باشد.
- ۲- تا حد امکان پیچ‌ها و دور زدن‌های گریدر باید حذف شود. معمولاً در گذرهای کمتر از ۳۰۰ متر بهتر است گریدر از دنده عقب استفاده نماید و مبادرت به دور زدن نکند. هنگامیکه راننده ماهر است حتی در گذرهای طولانی هم می‌توان از دنده عقب استفاده نمود. این امر مخصوصاً در شرایطی که دور زدن مشکل یا غیر ممکن است لزوم پیدا می‌کند.
- ۳- از گریدرهای دوتایی (پهلوی به پهلوی) هم می‌توان بصورت مؤثر استفاده نمود. به شرطی که اولاً ماشین به اندازه کافی موجود باشد و در ثانی وسعت محل کار اجازه بدهد، از این تکنیک بخصوص در تراز کردن سطح زمین، پخش و مخلوط کردن مواد استفاده می‌شود.

۳-۴-۳- محاسبه حجم عملیات خاکی لودر

با استفاده از فرمول زیر و همچنین یافتن متغیرهای این فرمول از طریق روش‌های ذکر شده می‌توان حجم عملیات خاکی لودر را بدست آورد.

$$Q = \frac{60 \times C \times K \times E}{T \times F}$$

در این فرمول علائم عبارتند از :

Q : حجم عملیات خاکی در یک ساعت (m^۳/hr)

T : زمان یک دوره کامل عملیات بر حسب دقیقه

C : ظرفیت جام لودر (m^۳)

K : ضریب راندمان جام برای لودرها

E : بازده لودر (میزان کار مفید در یک ساعت)

F : ضریب تورم خاک

برای یافتن هر یک از موارد ذکر شده به طریق زیر عمل می‌کنیم:

- ظرفیت جام لودر (C)

ظرفیت اسمی جام لودر عملاً مساوی با حجم مواد حفاری شده در جام لودر با در نظر گرفتن استانداردهای موسسه SAE (Society of Automotive Engineers) است. این حجم برحسب متر مکعب سست (LCM) بیان می‌شود و برای تبدیل آن به حجم مواد در محل دو نوع تصحیح باید در ظرفیت جام به عمل آید.

عامل اول توسط ضریب راندمان جام که برای تبدیل ظرفیت اسمی جام به حجم متوسط مواد سست موجود در هر محوطه جام بیان می‌شود. عامل دوم برای تبدیل حجم مواد سست به حجم مواد در محل حفاری (BCM) به کار می‌رود. تحت استاندارد SAE، بار مجاز لودر با چرخ لاستیکی در حین عملیات نباید هیچگاه از ۵۰٪ بار استاتیک واژگونی (باری که تحت آن مطابق با تعریف SAE به خاطر لنگر حاصل از وزن جام پر شده، لودر واژگون می‌شود) در حالتی که لودر در حال گردش کامل است تجاوز کند. این مقدار

برای لودر چرخ زنجیری ۳۵٪ بار استاتیک واژگونی می‌باشد. البته بار واژگونی را می‌توان با استفاده از سربار یا افزودن ملحقات به انتهای ماشین بالا برد و لذا مشاهده می‌شود که وزن ماشین هم علاوه بر قدرت بالا بردن بار، در تعیین حجم جام موثر است.

– محاسبه زمان یک دوره کامل عملیات (T)

برای محاسبه زمان یک دوره کامل عملیات لودر در دو مرحله باید عمل کرد. مرحله اول، محاسبه زمان ثابت و مرحله دوم استفاده از نمودارها برای محاسبه زمان رفت و برگشت (زمان متغیر) می‌باشد.

الف – محاسبه زمان ثابت برای لودر چرخ لاستیکی:

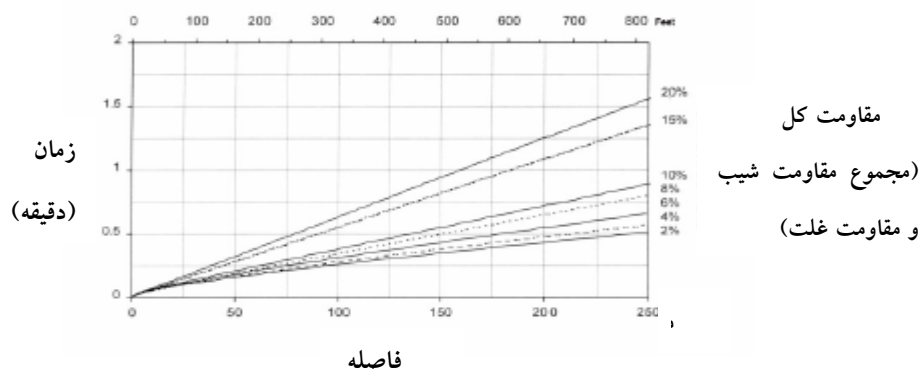
در این مرحله یک سیکل زمانی پایه در نظر گرفته شده و با توجه به شرایط مختلف، زمان‌های مشخصی به این زمان پایه اضافه و یا از آن کاسته می‌شود. زمان پایه (زمان لازم برای بارگیری، تخلیه و مانور) برای لودرهای چرخ لاستیکی معمول، ۰/۴۵ تا ۰/۵۵ دقیقه در نظر گرفته می‌شود. البته این میزان برای لودرهای بزرگ کمی بیشتر در نظر گرفته می‌شود. با اضافه کردن یا کم کردن زمان‌های متغیر زمان نهایی پایه بدست می‌آید. زمان یک دوره کامل بطور متوسط برای لودرها در جدول ۳-۶ زیر ارائه شده است:

جدول ۳-۶- زمان متوسط عملیات برای لودرهای چرخ لاستیکی

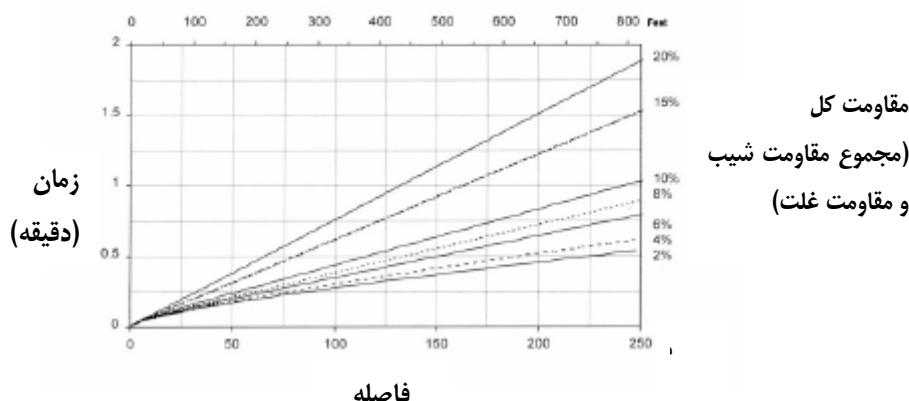
توان لودر (hp)	حجم جام (m ³)	زمان یک دوره ثابت T (دقیقه)
۹۰-۲۱۰	۰/۶-۳/۳	۰/۴۵-۰/۵
۲۳۵-۳۱۹	۳/۳-۵/۷	۰/۵-۰/۵۵
۴۷۵-۶۷۹	۶/۴-۸/۶	۰/۵۵-۰/۶
۸۰۰-۱۲۵۰	۱۱/۵-۱۹	۰/۶-۰/۷

ب – محاسبه زمان رفت و برگشت برای لودر چرخ لاستیکی:

با استفاده از نمودارهایی که کارخانه‌های سازنده ماشین در اختیار قرار می‌دهند، نیز می‌توان این زمان را محاسبه نمود. به طور معمول این نمودارها ۳ محوره می‌باشند، محور سمت راست میزان کل مقاومت موجود که متشکل از مقاومت شیب و مقاومت غلتش است را نشان می‌دهد و محور سمت چپ زمان رفت یا برگشت را می‌دهد. محور افقی نیز فاصله حمل یا برگشت را نشان می‌دهد. باید توجه شود برای رفت که بیل لودر پر از مصالح است و همچنین برگشت که بیل لودر خالی است نمودارهای جداگانه‌ای وجود دارد. شکل ۳-۹ یک نمونه لودر کاترپیلار ۹۳۸G خالی و شکل ۳-۱۰ همان لودر را با جام پر نشان می‌دهد.



شکل ۳-۹- زمان سفر ۹۳۸G در حالت خالی



شکل ۳-۱۰- زمان سفر ۹۳۸G در حالت پر

لازم به ذکر است که زمان‌های بدست آمده در دو مرحله فوق را باید با یکدیگر جمع نمود تا زمان نهایی یک سیکل فعالیت لودر بدست آید.

$$T_{\text{total}} = T_{(1)} + T_{(2)}$$

(بدست آمده از مرحله (۱)) + (بدست آمده از مرحله (۲))

ج- محاسبه زمان ثابت برای لودر چرخ زنجیری:

زمان ثابت (زمان لازم برای بارگیری، تخلیه و مانور) برای لودرهای چرخ زنجیری معمولی ۰/۲۵ تا ۰/۳۵ دقیقه می‌باشد. البته این میزان برای لودرهای بزرگ تر کمی بیشتر در نظر گرفته می‌شود. با افزودن و یا کسر زمان‌های ثابت که در شرایط مختلف تحمیل می‌شوند، زمان سیکل پایه نهایی بدست می‌آید.

$$T_{\text{ثابت}} = \text{زمان تخلیه} + \text{زمان مانور} + \text{زمان بارگیری}$$

۱- محاسبه زمان بارگیری:

زمان لازم برای بارگیری لودرهای چرخ زنجیری از جدول (۳-۷) قابل برداشت است:

جدول ۳-۷- زمان بارگیری لودر چرخ زنجیری

زمان (min)	نوع خاک
۰/۰۳-۰/۰۵	سنگدانه یکنواخت
۰/۰۳-۰/۰۶	سنگدانه مخلوط و مرطوب
۰/۰۳-۰/۰۷	رس شندار و مرطوب
۰/۰۴-۰/۲	خاک، سنگ
۰/۰۵-۰/۲	مصالح سیمانی شده

۲- محاسبه زمان مانور:

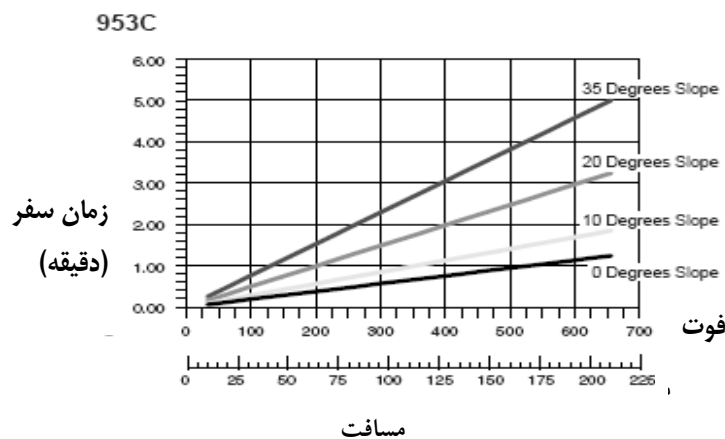
این زمان شامل تغییر موقعیت و همچنین چرخش لودر می‌باشد و میزان آن حدوداً ۰,۲ دقیقه (با یک راننده مجرب) در نظر گرفته می‌شود.

۳- زمان تخلیه:

این زمان بسته به محلی که لودر تخلیه را انجام می دهد تغییر می کند و برای تخلیه در کامیون ها و تراکها بین ۰,۰۴ تا ۰,۰۷ دقیقه متغیر می باشد. زمان هایی که شرایط کاری در محل به زمان لودر آن تحمیل می شود با توجه به موارد ذکر شده در لودر چرخ لاستیکی برداشته و به زمان ثابت حاصل از جمع زمان های بارگیری، تخلیه و مانور اضافه و یا از آن کاسته می شود.

۴- محاسبه زمان رفت و برگشت برای لودر چرخ زنجیری:

به استناد نمودارهایی که کارخانه های سازنده ماشین در اختیار قرار می دهند، می توان این زمان را محاسبه نمود. به طور معمول این نمودارها دارای ۲ محور می باشند، محور سمت چپ زمان رفت و برگشت و محور افقی فاصله حمل را نمایش می دهد این نمودار زمان رفت و برگشت بر حسب فاصله را برای شیب های مختلف نشان می دهد نمونه ای از این نمودار در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۱- محاسبه مستقیم زمان سفر از روی نمودار کارخانه

همانگونه که مشاهده می شود، برای لودرهای چرخ زنجیری برای رفت و برگشت از یک نمودار استفاده می شود، ولی برای لودرهای چرخ لاستیکی از ۲ نمودار استفاده می گردد.

$$T_{\text{total}} = T_{\text{((۳))}} + T_{\text{((۴))}}$$

(بدست آمده از مرحله (۳)) + (بدست آمده از مرحله (۴))

یافتن ضریب راندمان جام لودرها (K)

با استفاده از جدول ۳-۸ می توان ضریب راندمان جام لودرها را پیدا کرد

جدول ۳-۸- ضریب راندمان جام لودرها در انواع مواد

نوع مواد	ضریب راندمان جام (%)
زمین طبیعی	۱۰۰-۱۱۰
دانه بندی مخلوط	۹۵-۱۰۰
دانه بندی یکنواخت	۹۵-۱۰۰
تا ۱/۸ اینچ	۹۵-۱۰۰
۱/۸ تا ۳/۴ اینچ	۹۰-۹۵
بالای ۳/۴ اینچ	۸۵-۹۰
موارد به هم چسبیده :	

۸۵-۹۵	خوب خرد شده
۷۰-۸۰	متوسط
۶۰-۷۰	بد خرد شده

بازده لودر (E)

این بازده به چگونگی مدیریت و سرپرستی کار، مهارت راننده و شرایط محیطی و محلی بستگی دارد.

$$E = \frac{\text{میزان زمان واقعی انجام کار}}{\text{میزان زمان صرف شده}}$$

ضریب تورم خاک (f)

این ضریب میزان تغییر حجم خاک پس از کنده شدن را مشخص می کند و می توان میزان آن را برای انواع خاک های مختلف در جدول (۱-۳) مشاهده کرد.

مثال:

برای گودبرداری ۱۲۰۰ متر مکعب خاک (به طول ۳۰ متر، عرض ۲۰ متر و ارتفاع ۲ متر) از لودر کاتریلار ۹۵۰G استفاده شده است. در صورتی که جنس زمین از خاک نرم با دانه بندی مخلوط تشکیل شده و طول جاده الحاقی ۱۰ متر باشد، مدت اجرای عملیات را محاسبه کنید.

مقاومت کل ۴٪

بازده ۸۳٪

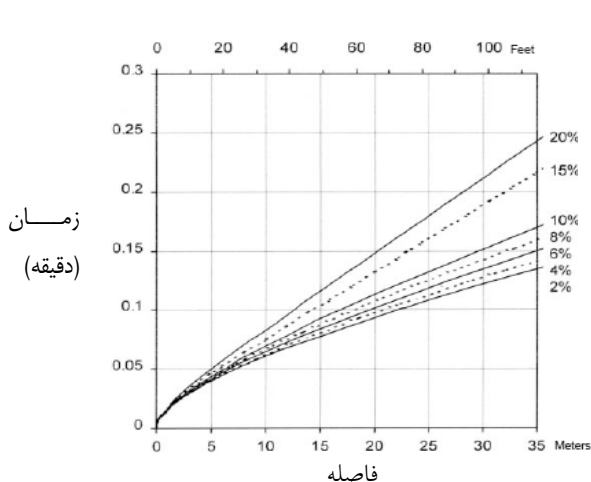
حل:

$$30/2 + 10 = 25$$

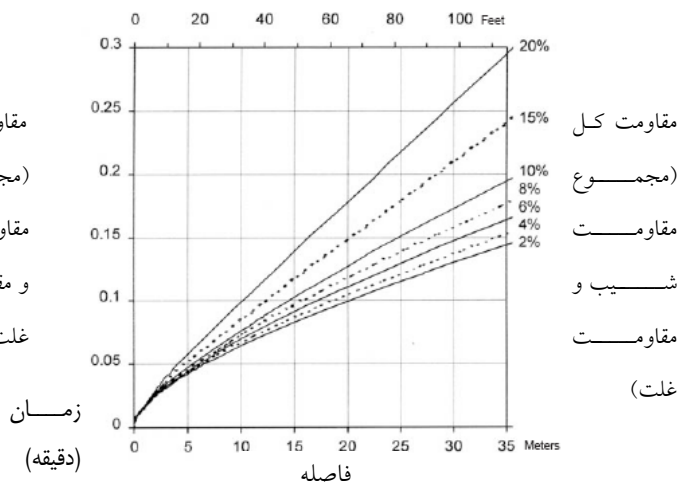
با توجه به ابعاد محیط خاکبرداری مسافت متوسط

محاسبه زمان یک دوره کامل (T): زمان ثابت ۰/۵ دقیقه فرض شده است. زمان متغیر با استفاده از دو نمودار زیر برای حالت

رفت ۰/۱۲۵ دقیقه و برای حالت برگشت که جام خالی است ۰/۱۱۵ دقیقه به دست می آید.



شکل ۳-۱۳- لودر خالی ۹۵۰G



شکل ۳-۱۲- لودر پر ۹۵۰G

$$\text{زمان کل} = 0/125 + 0/115 + 0/5 = 0/74 \text{ min}$$

ضریب جام ۰/۹۵

ضریب تورم خاک ۱/۲۷

ظرفیت جام ۳ متر مکعب

بازده لودر ۰/۸۳

$$Q = (3 * 0.95 * 6 * 0.83) / (1.27 * 0.74) = 151 \text{ m}^3/\text{hr}$$

تقریباً ۸ ساعت معادل یک روز کاری $1200/151 = 7/93 \text{ hr}$ مدت اجرا

۳-۴-۴- محاسبه حجم عملیات خاکی غلتک :

مقدار کار غلتک بر حسب متر مکعب در ساعت تابع سرعت غلتک و تعداد گذر برای رسیدن به تراکم مطلوب می باشد. لذا عواملی مانند جنس خاک، رطوبت خاک، ضخامت آن و سرعت حرکت، می توانند بر مقدار تولید مؤثر باشند. ولی به طور کلی از فرمول های زیر مقدار خاک متراکم شده تعیین می شود:

$$Q = \frac{10 \times S \times w \times E \times D}{N}$$

$$A = \frac{10 \times S \times w \times E}{N}$$

Q = حجم خاک متراکم شده در ساعت (m^3/hr)

A = سطح خاک متراکم شده در ساعت (m^2/hr)

E = بازده غلتک

S = سرعت حرکت غلطک (m/hr)

D = عمق قشر خاک قبل از متراکم شدن (cm)

N = تعداد عبور غلتک

W = پهناى مفید غلطک (m)

لازم به ذکر است برای تبدیل حجم و یا سطح خاک کنده شده به حجم یا سطح خاک پس از کوبیده شدن، کفایت ارقام بدست آمده را در (f) یعنی ضریب تبدیل خاک ضرب نمود. مقدار این ضریب از جدول ۳-۱ بدست می آید.

۱- **بازده غلتک (E):** این بازده به چگونگی مدیریت و سرپرستی کار، مهارت راننده و شرایط محیطی و محلی بستگی دارد.

$$E = \frac{\text{میزان زمان واقعی انجام کار}}{\text{میزان زمان صرف شده}}$$

۲- **پهناى مفید (W):** بسته به نوع غلطک مورد استفاده متفاوت می باشد که اندازه آن در مشخصات عمومی ماشین مورد

استفاده، آورده شده است.

۳- **سرعت حرکت (S):** سرعت حرکت غلطک های مختلف بر حسب نوع کاری که انجام می دهند تغییر می نماید. اندازه

سرعت نیز برای هر ماشین در مشخصات عمومی آن آورده شده است.

۴- قطر قشر خاک قبل از متراکم شدن (D): بر حسب جنس خاک و نوع غلطک و همچنین میزان تراکم مورد نظر تغییر می کند. لذا در هر کارگاهی باید آزمایشات لازم به عمل آمده و قطر مناسب را تعیین کرد.

۵- تعداد دفعات عبور غلطک (N): تعداد دفعات عبور غلطک، برای متراکم ساختن مواد، بستگی به میزان تراکم مورد نظر، نوع غلطک، سرعت حرکت آن، جنس مواد، قطر قشر کوبیده شده و رطوبت آن دارد. برای هر نوع خاک لازم است در هر کارگاهی آزمایشات لازم برای تعیین تعداد عبور مناسب بدست آید.

نکته: معمولاً سعی می شود رطوبت مواد در موقع متراکم شدن آن تا حد امکان به رطوبت نظیر تراکم حداکثر نزدیک باشد. تراکم حداکثر و رطوبت نظیر آن را می توان طبق استانداردهای مختلف مکانیک خاک تعیین کرد.

مثال:

برای کوبیدن جاده ای به طول ۲ کیلومتر و پهنای ۸ متر از غلطک پاچه بزی استفاده شده است. اگر ضخامت قشر خاک ۲۰ سانتی متر، تعداد عبور ۱۰ بار و سرعت حرکت غلطک ۸ کیلومتر در ساعت باشد، میزان تولید برای این عملیات را حساب کنید. (بازده غلطک ۷۰٪ و پهنای مفید آن ۱/۴ متر می باشد).

حل: باید عبورها حداقل ۰/۳ متر بر هم منطبق باشند. لذا پهنای مفید (۱/۱ = ۰/۳ - ۱/۴) در نظر گرفته می شود. حجم خاک (کوبیده نشده) در یک ساعت:

$$Q = \frac{10 \times S \times w \times E \times D}{N} = \frac{10 \times 8 \times 20 \times 0.7 \times 1/1}{10} = 123/2 \left(\frac{m^3}{hr} \right)$$

حجم خاک (کوبیده شده) در یک ساعت:

$$f = 0.8$$

$$Q' = 123 * 0.8 = 98.4 \text{ m}^3/\text{hr}$$

۳-۴-۵- محاسبه حجم عملیات خاک بولدوزر:

محاسبه حجم عملیات خاکی بولدوزر به دو صورت می تواند انجام گیرد. روش اول محاسبه فرمولی است که با توجه به ظرفیت جام، راندمان کارگاهی، زمان کامل یک سیکل و ضریب تورم خاک انجام می شود. روش دوم با استفاده از نمودارهای روی کاتالوگهای ماشین آلات به محاسبه ماکزیمم تولید می پردازد و سپس با اعمال ضرایب اصلاحی میزان تولید واقعی را محاسبه می کند. در ادامه هر دو روش مذکور به ترتیب توضیح داده شده است.

روش اول) استفاده از روش های محاسباتی:

برای بولدوزرها فرمول زیر برای محاسبه حجم عملیات خاکی ارائه می گردد.

$$Q = \frac{C \times 60 \times E}{T \times f}$$

در این فرمول علائم عبارتند از:

Q = حجم عملیات خاکی در یک ساعت بر حسب متر مکعب

T = زمان کل بر حسب دقیقه

C = (قابل استخراج از کاتالوگ ماشین) ظرفیت تیغه بولدوزر بر حسب متر مکعب

ضریب تورم خاک = f

هنگام استفاده از این روش باید به نکات زیر توجه نمود:

(۱) **ظرفیت تیغه بولدوزر (C):** دو عامل در ظرفیت تیغه بولدوزر تأثیر گذار می‌باشند.

الف) ابعاد تیغه

ب) جنس زمین (نوع خاکی که ماشین قرار است در آن کار کند)

بار تیغه به روش های مختلف به شرح زیر تخمین زده می‌شود:

- نرخ تیغه از طرف سازندگان ماشین

نرخ تیغه از طرف سازندگان با فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$V_s = 0.8WH^2$$

$$V_u = V_s + ZH(W-Z)\tan(X)$$

که در آن:

V_s = ظرفیت تیغه مستقیم یا زاویه ای در حالت LCM

V_u = ظرفیت تیغه فراگیر در حالت LCM

W = طول تیغه (متر)

H = ارتفاع موثر تیغه (متر)

Z = طول بال (متر)

X = زاویه بال

- تجربه قبلی (مصالح، ماشین و شرایط کار مشابه)

تجربه قبلی نیز از روش های تخمین در حد عالی می‌باشد.

- اندازه گیری در کارگاه

اندازه گیری در کارگاه به شرح زیر انجام می‌شود:

۱- تعیین بار تیغه معمولی

بولدوزر بر سطح تراز پیش می‌رود. سپس متوقف می‌گردد. در همین حال تیغه را بالا آورده و کمی به طرف جلو حرکت می‌دهد تا

دیوی قرینه ایجاد شود. در نهایت بولدوزر به سمت عقب حرکت کرده و از دیو دور می‌شود.

۲- اندازه گیری

ارتفاع (H) دیو در دو نقطه اندازه گیری می‌شود.

عرض (W) دیو در دو نقطه اندازه گیری می‌شود.

بیشترین طول (L) دیو اندازه گیری می‌شود.

۳- محاسبه

میانگین دو ارتفاع و دو عرض محاسبه می‌شود. اگر اندازه گیری به متر است، بار تیغه بر حسب LCM از فرمول زیر محاسبه

می‌شود:

بار تیغه $(LCM) = HWL$

(۲) بازده بولدوز (E): این بازده متغیر بوده و بستگی به چگونگی مدیریت و سرپرستی، طرز کار و مهارت راننده و نگهداری و تعمیر بولدوزر و بالاخره شرایط محلی دارد.

$$E = \frac{\text{میزان زمان واقعی انجام کار}}{\text{میزان زمان صرف شده}}$$

(۳) زمان حمل (T): زمان حمل عبارت از مدتی است که طول می کشد تا بولدوزر خاک را از محل بارگیری تا محل تخلیه حمل نموده و دوباره به محل اولیه خود جهت ادامه عملیات بازگردد. (به عبارت دیگر زمان انجام یک سیکل کاری) زمان حمل به دو قسمت زمان متغیر و زمان ثابت تقسیم می شود.

الف) زمان متغیر، زمانی است که صرف رفت و برگشت بولدوزر می شود و ارتباط مستقیم با مسافت دارد.

$$T_{\text{متغیر}} = \frac{\text{فاصله برگشت}}{\text{سرعت برگشت}} + \frac{\text{فاصله رفت}}{\text{سرعت رفت}}$$

ب) زمان ثابت: زمانی که جهت تغییر دنده، شتابگیری و موارد مشابه لازم است.

(۴) ضریب تورم خاک (f): هنگام انجام عملیات، خاکی که برداشت می شود تغییر حجم داده و حجمش افزایش می یابد. به همین دلیل ضریب تورم خاک در این فرمول پیش بینی شده است. این ضریب را برای خاک های مختلف می توان از جدول شماره (۲-۳) برداشت نمود.

مثال:

تولید تقریبی یک بولدوزر را برای شرایط زیر محاسبه کنید.

اندازه تیغه بطول ۲/۸۹ و ارتفاع ۰/۹۲ متر است و ظرفیت برآورد شده آن ۲/۷۵ متر مکعب می باشد. خاک از نوع رس متراکم بوده و میزان بهره گیری ۵۰ دقیقه در ساعت است. مسافت حمل برابر ۳۰ متر بوده و سرعت رفت ۲/۲ کیلومتر بر ساعت و سرعت برگشت ۵/۶ کیلومتر بر ساعت محاسبه شده است.

زمان ثابت به منظور تعویض دنده و شتابگیری ۰/۳ دقیقه فرض شده است.

حل:

با توجه به جدول، ضریب تورم خاک برابر با ۱/۴۱ می باشد.

زمان متغیر نیز قابل محاسبه است و داریم:

$$T_{\text{متغیر رفت}} = \frac{۳۰}{۳۶/۶۶} = ۰/۸۱۸ \text{ دقیقه}$$



سرعت رفت بر حسب متر در دقیقه

$$T_{\text{متغیر برگشت}} = \frac{۳۰}{۹۳/۳} = ۰/۳۲۱ \text{ دقیقه}$$



سرعت برگشت بر حسب متر در دقیقه

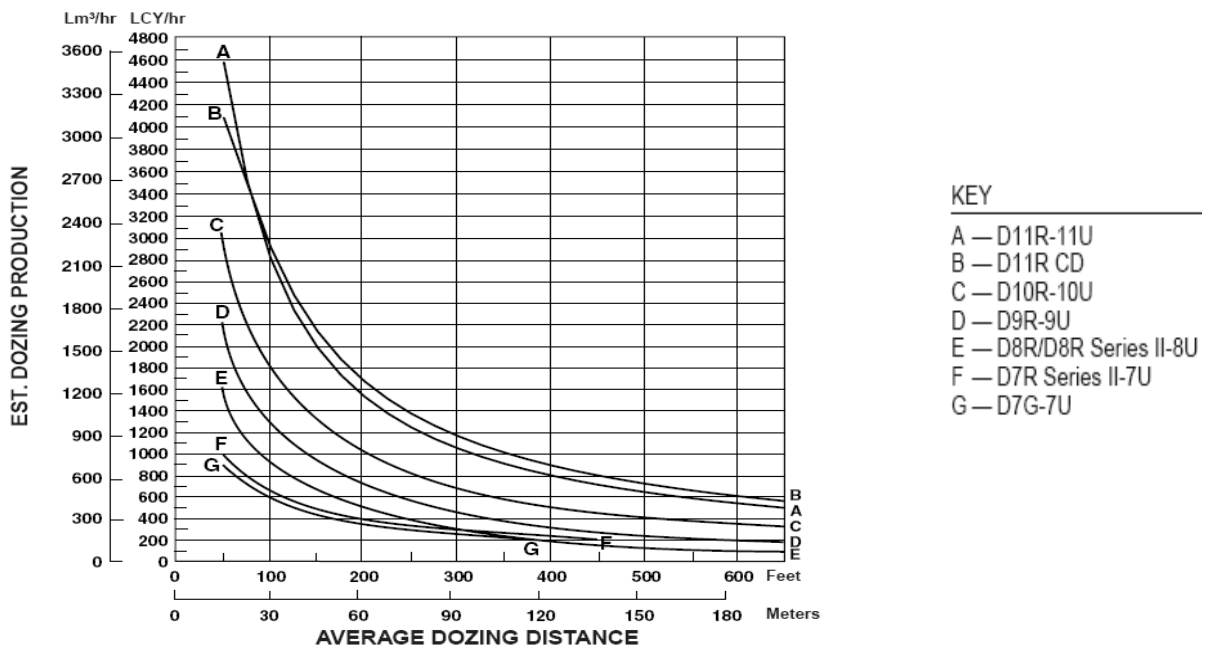
$$T_{total} = \underbrace{0/118 + 0/321}_{\text{ثابت}} + 0/3 = 1/44 \text{ دقیقه}$$

$$Q = \frac{2/75 \times 60 \times \frac{50}{60}}{1/44 \times 1/43} = 66/77 \text{ متر مکعب در ساعت}$$

بازده شرایط فوق در حالتی در نظر گرفته شده که اجازه بارگیری با ظرفیت کامل به تیغه داده شود ولی برای اکثر پروژهها مقدار بارگیری کمتر از مقدار ظرفیت حداکثر ممکن خواهد بود.

روش دوم - استفاده از نمودارهای ماشین آلات مورد استفاده:

در این روش میزان تولید بولدوزر را می توان از منحنی های تولید موجود در کاتالوگ ماشین ها و ضرایب اصلاحی که نحوه محاسبه آن در ادامه توضیح داده خواهد شد، محاسبه کرد. (یک نمونه از این نمودارها در شکل شماره ۳-۱۴ نشان داده شده است.)
ضرایب اصلاحی * ماکزیمم تولید (بدست آمده از روی نمودار) = تولید



شکل شماره ۳-۱۴ میزان تولید تخمینی بولدوزر D۱۱R تا D۷G شرکت کاتریلار با تیغه یونیورسال

بافرض چگالی خاک ۱۳۷۰ Kg/m³

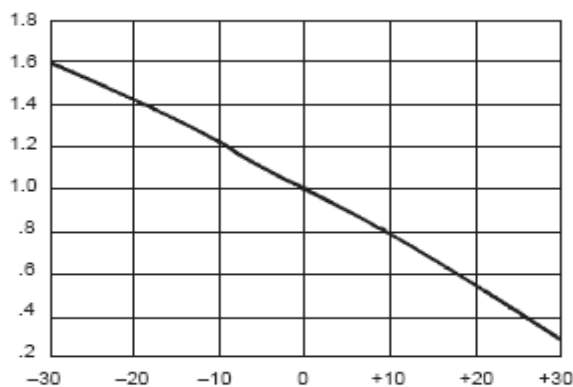
در این نمودار محور افقی فاصله حمل بر حسب متر و فوت و محور قائم میزان تولید است. حروف نشان داده شده نیز معرف نوع بولدوزر مورد استفاده است. پس از برداشت تولید تقریبی از نمودار، با استفاده از ضرایب اصلاحی جدول ۳-۹ میزان تولید ماشین محاسبه می شود.

جدول ۳-۹- ضرایب اصلاحی موقعیتهای مختلف کاری بولدوزر

	بولدوزر چرخ زنجیری	بولدوزر چرخ لاستیکی
اپراتور:		
خوب	۱	۱
متوسط	۰/۷۵	۰/۶
ضعیف	۰/۶	۰/۵

مواد : مواد انباشته شده است	۱/۲	۱/۲
منجمد، سخت برای برش : با سیلندر شیب دار بدون سیلندر شیب دار	۰/۸	۰/۷۵
	۰/۷	-
مواد بسیار چسبنده و توده سخت مواد	۰/۸	۰/۸
بالاستی، صخره‌ای	۰/۶-۰/۸	-
حفاری در شیار	۱/۲	۱/۲
حفاری در کنار هم	۱/۱۵-۱/۲۵	۱/۱۵-۱/۲۵
تاریکی، گرد و غبار، مه، برف، باران	۰/۸	۰/۷

علاوه بر موارد فوق تأثیر شیب را از روی شکل شماره ۳-۱۵ می‌توان برداشت نمود. همچنین میزان کارکرد ماشین در یک ساعت را بصورت نسبت آن میزان عملکرد تقسیم بر ۶۰ دقیقه به صورت ضریب تأثیر می‌دهیم.



شکل ۳-۱۵- ضریب تولید بر اساس شیب (منفی سرازیری و مثبت سربالایی)

مثال:

میزان حجم عملیات خاکی در یک ساعت از لودر D⁸R/ASU (دارای سیلندر شیب دار) که رس سخت را در فاصله ۴۵ متر انتقال می‌دهد محاسبه کنید.

میزان شیب ۱۵٪ سربالایی است.

چگالی مصالح 1600 kg/m^3

راننده دارای مهارت متوسط است.

میزان بازده کار در یک ساعت ۵۰ دقیقه می‌باشد و حفاری در شیار انجام می‌گیرد.

حل :

با توجه به نمودار میزان ماکزیمم تولید $458 \text{ m}^3/\text{hr}$ بدست می‌آید. از آنجایی که نمودارها برای خاک با چگالی ۱۳۷۰ تنظیم شده اند باید ضریب اصلاح چگالی محاسبه شود.

$$\text{اصلاح چگالی} = 1370/1600 = 0.87$$

مصالح سخت برای برش ۰/۸

اصلاح شیب $1/3$ (با توجه به نمودار)

حفاری در شیار $1/2$

راننده متوسط $0/75$

بازده کاری $0/83 = 50/60$

$$\text{میزان تولید} = 309/6 \text{ m}^3/\text{hr} = (187 / 0/83 * 0/75 * 1/2 * 1/3 * 1/8 * 0) * 458 =$$

۳-۴-۶- محاسبه ظرفیت تولید و حجم عملیاتی کامیون:

ظرفیت تولیدی یک کامیون یا یک واگن بستگی به مقدار بار و تعداد سفرهایی دارد که در یک ساعت می تواند انجام دهد:

$$\text{مقدار بار} * \text{تعداد سفر در ساعت} = \text{ظرفیت تولید}$$

- تعداد سفر در یک ساعت بستگی به وزن کامیون، قدرت موتور، فاصله حمل و شرایط جاده دارد. این عوامل بر روی مدت زمان یک سیکل کاری اثر می گذارند که با محاسبه آن می توان تعداد سفر در ساعت را بدست آورد.
- روش تعیین مقدار بار (ظرفیت) کامیون در قسمت بعد شرح داده شده است.
- برای مثال کامیونی که دارای ظرفیت ۱۲ متر مکعب می باشد و حدوداً در هر ساعت ۳ مرتبه مواد خاکی را در مسیر مشخص شده جابجا می کند، دارای ظرفیت تولید ساعتی $36 \text{ m}^3/\text{hr}$ برای آن مسیر خاص می باشد.

- مقدار بار (ظرفیت) کامیون ها و واگن ها:

سه روش برای بیان ظرفیت واگن ها و کامیون ها وجود دارد:

(۱) مقدار بار قابل حمل بر حسب تن

(۲) بوسیله حجم پر بر حسب متر مکعب

(۳) بوسیله حجم انباشته بر حسب متر مکعب

در هنگامی که حمل مواد سنگین وزن نظیر سنگ آهن مورد نظر است ظرفیت وزنی، حجم مواد را محدود می نماید. ولی هنگامیکه وزن مخصوص مواد چنان باشد که مقدار بار از مقدار مجاز بیشتر نشود، دستگاه را می توان تا ظرفیت انباشته بار نمود. ظرفیت پر مساوی حجم هندسی اتاق بارگیری کامیون است ولی ظرفیت انباشته حالتی است که کامیون تا لبه ها پر و خاک به صورت مخروطی روی آن قرار گیرد.

ظرفیت پر برای هر ماشین مقداری ثابت است و معمولاً در موارد حمل مواد سیال یا نسبتاً سیال نظیر بتن تعیین کننده نیست. در حالی که ظرفیت انباشته مقدار متغیری دارد (خاکهای مرطوب یا خاک رس ماسه ای با زاویه شیب ۱ به ۱ می تواند حمل شود، در حالیکه شن خشک و یا ماسه، شیبی بیشتر از ۱ به ۳ نخواهند داشت). جاده هموار اجازه بهره برداری با ظرفیت انباشته بیشتری را نسبت به راه موقت ناهموار می دهد.

برای تعیین ظرفیت انباشته یک دستگاه لازم است که ظرفیت پر، طول و عرض اتاق کامیون و زاویه ای که تحت آن مواد بار شده در هنگام حرکت ثابت می ماند معلوم باشد. ولی همواره باید توجه داشت که وزن مواد در این حالت کمتر از ظرفیت وزنی مجاز ماشین باشد.

– تعیین تعداد باربرهای مورد نیاز در عملیات:

برای تعیین تعداد باربرهای لازم برای هر ماشین حفار، باید ابتدا محاسبه نمود که مدت زمان لازم برای هر سیکل کامل باربری چقدر است. این مدت زمان از پارامترهای زیر تشکیل شده است:

- (۱) بارگیری که توسط لودر یا ماشین حفار در محل حفاری انجام می‌شود.
- (۲) حمل که از محل بارگیری تا محل تخلیه صورت می‌پذیرد.
- (۳) تخلیه که در محل تخلیه انجام گرفته و شامل مانور در محل تخلیه هم می‌شود.
- (۴) بازگشت که شامل بازگشت از محل تخلیه به محل بارگیری است.
- (۵) مدت زمانی که طول می‌کشد تا نوبت بارگیری به باربر برسد.
- (۶) شتابگیری که بین مراحل بارگیری و حمل و یا تخلیه و بازگشت است و شامل زمانی است که طول می‌کشد تا ماشین به

سرعت حد خود برسد.

عوامل فوق به دو دسته مدت زمان‌های ثابت و مدت زمان‌های متغیر گروه‌بندی می‌شوند.

مدت زمان متغیر + مدت زمان ثابت = سیکل حمل مواد

مدت زمان ثابت عبارتست از مجموع عوامل ۱، ۳، ۵ و ۶ مندرج در فوق (بدین دلیل اینها را ثابت فرض می‌کنیم که این عوامل تابع فواصل حمل و سرعت وسیله نقلیه نمی‌باشند). این مدت زمان‌ها برای هر نوع عملیات بخصوصی با دقت قابل قبولی محاسبه می‌شوند.

مدت زمان متغیر سیکل، همان زمان سفرهای مربوط به حرکت ماشین می‌باشند که به هم افزوده می‌شوند. این زمان سفرها را می‌توان با تقسیم مسافت حمل بر سرعت متوسط باربر تخمین زد. تعیین سرعت باربر معمولاً به دو طریق صورت می‌گیرد (یا از طریق نمودارهای ارائه شده از طرف کارخانه تولید کننده و یا از طریق جداولی که سرعت را در هر دنده می‌دهند) روش دوم و عوامل مؤثر بر آن (قدرت موتور، وزن ناخالص ماشین، مقاومت غلتشی، شیب، ارتفاع و ...) در پایان این فصل طی مثالی به طور کامل تشریح شده است. در حال حاضر فرض می‌کنیم سرعت و به تبع آن زمان سفر محاسبه شده و معلوم است.

پس از تعیین مدت زمان لازم برای هر سیکل باربری، اکنون به محاسبه تعداد باربرهای لازم در عملیات می‌پردازیم.

در ابتدا از یک روش معین استفاده می‌شود که در آن فرض می‌شود در هر لحظه یک ماشین باربر برای بارگیری موجود است. در مرحله بعد با تعمیم روش فوق و با استفاده از یک تکنیک ریاضی به نام تئوری صف، اثر متغیر بودن مدت زمان سفر و بارگیری باربرها را در محاسبات وارد می‌کنیم تا به نتایج واقع بینانه‌تری از روش معین دست یابیم. در روش معین فرض بر این است که مدت زمان های سیکل کاری کامیون مقدار ثابت و قابل ملاحظه ای دارد ولی در روش تئوری صف فرض می‌شود که این مدت زمان‌ها تابع یک توزیع آماری می‌باشند.

روش سنتی محاسبه تعداد ماشین‌های باربری که از یک لودر سرویس می‌گیرند. به این صورت است که همواره باید تعداد ماشین‌ها را طوری در نظر گرفت که هیچگاه ماشین حفار بی‌کار نباشد. به عبارت دیگر در هر لحظه یک ماشین باربر برای بارگیری موجود باشد. این روش یک روش معین بوده و فرض می‌شود که مدت زمان لازم برای بارگیری، تخلیه و حمل مواد کاملاً قابل پیش بینی است:

مدت زمان بارگیری با استفاده از یکی از روابط زیر بدست می آید:

$$\text{ظرفیت ماشین باربر} \\ \text{تولید بارکن با راندمان } 100\% = \text{زمان}$$

تعداد جام‌های تخلیه شده در باربر * سیکل ماشین حفار = مدت زمان بارگیری

در رابطه بالا بدین دلیل راندمان را 100٪ می‌گیریم که معمولاً لودر در هنگام عمل بار زدن دارای راندمان برابر یا نزدیک به 100٪ می‌باشد.

$$\text{سیکل کلی حمل و تخلیه مواد} \\ \text{مدت زمان بارگیری} = (N) \text{ تعداد باربرهای مورد نیاز}$$

اگر حاصل رابطه فوق به عدد صحیح بالاتر گرد شود، می‌توان اطمینان داشت که همواره لاقط یک ماشین باربر در کنار ماشین حفار موجود است. در نتیجه میزان کار سیستم مساوی خواهد بود با میزان تولید حفار که البته با در نظر گرفتن ضریب راندمان کار حفار خواهد بود. اگر تعداد ماشین‌ها از N کمتر باشد، میزان تولید به همان نسبت نقصان می‌یابد طبق رابطه زیر:

$$\text{تولید نرمال} * \frac{\text{تعداد باربرها}}{N} = \text{تولید مورد انتظار (} N > \text{تعداد باربرها)}$$

تولید نرمال عبارتست از میزان تولید در حالتیکه تعداد باربرها مساوی N باشد.

ارائه یک مثال عددی می‌تواند مطالب بالا را روشن کند. (در این مثال فرض می‌شود که مدت زمان‌های عملیاتی کامیون معلوم است. روش بدست آوردن این زمان‌ها در مثال انتهای فصل آمده است.)

مثال:

یک لودر با ظرفیت متوسط جام $1/5 \text{ m}^3$ دارای میزان تولید 80 متر مکعب در ساعت و راندمان 0/75 است. کامیون‌های در نظر گرفته شده برای سرویس گرفتن از این لودر دارای ظرفیت 3 متر مکعب می‌باشند. مدت زمان سفر و تخلیه این کامیون‌ها 30 دقیقه برآورد شده، مطلوب است تعداد کامیون لازم و میزان تولید ساعتی مجموعه.

$$\text{مدت زمان سفر + تخلیه} = 0/5 \text{ hr} \quad \text{و} \quad \text{مدت زمان بارگیری} = \frac{3}{80} = 0/0375 \text{ hr}$$

$$(N) \text{ تعداد باربری‌های مورد نیاز} = \frac{0/0375 + 0/5}{0/0375} = \frac{0/5375}{0/0375} = 14/33$$

بنابراین 15 کامیون مورد نیاز می‌باشد و میزان تولید ساعتی سیستم نیز همان تولید لودر می‌باشد البته با احتساب راندمان کار لودر:

$$80 * 0/75 = 60 \text{ m}^3/\text{hr}$$

البته چون از 15 کامیون استفاده کرده‌ایم و زمان لازم برای بارکردن این تعداد کامیون $0/5375 \text{ hr} = 0/0375 * 15$ می‌باشد. لذا زمان از دست رفته به ازای هر دوره تناوب کامیون برابر با $0/025 \text{ hr} = 0/5375 - 0/5375$ به ازای هر کامیون می‌شود. این امر فاکتور بهره‌وری 95٪ را برای هر کامیون بوجود می‌آورد.

$$\frac{0/5375}{0/025} = 0/95$$

حال اگر فرض کنیم که به جای ۱۵ کامیون از ۱۴ کامیون استفاده نموده‌ایم. بنابراین میزان تولید سیستم به صورت زیر بدست می‌آید.

$$\text{تولید مورد انتظار} = \frac{۱۴}{۱۴/۳۳} * ۶۰ = ۵۸/۶۲ \text{ m}^3/\text{hr}$$

در این صورت لودر مزبور مدت زمانی را در بارگیری کامیون‌ها از دست خواهد داد.

$$\text{مخارج کلید} = \frac{\text{ماشین آلات در واحد زمان}}{\text{تولید در واحد زمان}} = \text{مخارج عملیات در واحد حجم عملیات}$$

برای روشن شدن بیشتر مطلب به مثال پایان فصل مراجعه شود.

– روش تئوری صف‌بندی

در سال ۱۹۴۷ روشی بر مبنای تئوری صفوف محدود (finite queues) ارائه شد که به کمک آن می‌توان توزیع بهینه تعمیر کارانی را که برای سرویس ماشین‌های اتوماتیک در نظر گرفته شده بودند، تعیین کرد. انواع مختلف این مدل که معمولاً مدل ماشین سوئدی (Swedish Machine Model) خوانده می‌شود، در حل برخی از مسائل به کار رفته و موفقیت آمیز بوده است. اسپاف (spagh) این مدل را برای اولین بار در یک عملیات حفاری و حمل و نقل بکار برده است. گرچه تئوری صفوف بر مبنای تئوری‌های ریاضی نسبتاً پیچیده بنا شده ولی می‌توان آن را به سادگی در مساله حفاری و حمل و نقل به کار برد. حل ریاضی روابط و فرمول‌های مربوطه در اینجا آورده نمی‌شوند. علاقه‌مندان می‌توانند به کتاب‌های مربوطه مراجعه نمایند. با این همه باید در نظر داشت که در این روش فرض بر این است که مدت زمان‌های بارگیری و حمل مواد به محل تخلیه و بازگشت به محل بارگیری تابع یک توزیع آماری (پواسون یا اکسیونانسیل) می‌باشند. مشاهدات در محل کارگاه‌ها نشان می‌دهد که گرچه این مدت زمان‌ها کاملاً از این توزیع‌های آماری متابعت نمی‌کنند، ولی میزان تولید محاسبه شده توسط این روش به میزان حقیقی تولید به اندازه کافی نزدیک است.

نمادهای زیر در کاربرد تئوری فوق‌الذکر در عمل حفاری و حمل مواد مورد استفاده واقع می‌شوند:

n : تعداد باربر سیستم

a : متوسط تعداد دفعاتی که یک باربر (کامیون) به محل بارگیری رجوع می‌کند. (بر حسب تعداد دفعات ورود در ساعت)

l : متوسط تعداد باربرهایی که توسط یک بارکن (حفار) بار می‌شوند. (بر حسب تعداد باربر بار شده در ساعت)

r : نسبت a به l

P_0 : احتمال اینکه در یک لحظه بخصوص باربری برای گرفتن بار از بارکن در محل بارگیری موجود نباشد.

P_i : احتمال اینکه یک یا بیش از یک باربر در محل بارگیری وجود داشته باشد.

باتوجه به تعریف P_t و P_0 خواهیم داشت: $(P_i = 1 - P_0)$

برای یافتن P_t و P_0 لازم است که مقدار r تعیین شود.

زمان سفر / ۱ = تعداد دفعات ورود به محل بارگیری a

(تولید لودر / ظرفیت کامیون) / ۱ = زمان بارگیری / ۱ = تعداد دفعات بارگیری در ساعت l

لذا خواهیم داشت: $r = \frac{\text{ظرفیت کامیون}}{\text{تولید لودر} \times \text{زمان سفر}} = \frac{\text{زمان بارگیری}}{\text{زمان سفر}}$

تعداد بهینه بارها (کامیون‌ها):

میزان تولید یک سیستم حفاری و حمل مواد، با استفاده از تئوری صفوف، از ضرب تولید عادی حفار در احتمال وجود باربر (کامیون) در محل بارگیری در هر لحظه بدست می‌آید. بنابراین، میزان تولید عبارت است از حاصل ضرب تولید نرمال حفار در P_t با توجه به تعداد کامیون موجود در سیستم:

$$P_t * \text{تولید عادی حفار} = \text{تولید سیستم}$$

وقتی از تئوری صفوف استفاده می‌شود، تعداد بهینه کامیون‌های یک پروژه بخصوص طوری انتخاب می‌شود که مجموعه حاصل کمترین هزینه را برای تولید ایجاد نماید. قیمت تمام شده برای تعداد مخالفی از کامیون‌ها محاسبه شده و تعداد کامیونی که به ازای آن، این هزینه کمترین می‌باشد انتخاب می‌گردد. یک مقدار تقریبی برای n برابر با عکس r می‌باشد. بنابراین مقادیری برای n در اطراف $1/r$ انتخاب شده، هزینه مربوط به هر کدام محاسبه می‌شود و کمترین آنها تعیین می‌گردد.

مشاهدات کارگاهی نشان می‌دهد که مدت زمان‌های حقیقی بارگیری و حمل مواد کاملاً از توزیع نرمال متابعت نمی‌کند، اما تولید حقیقی با تولید محاسبه شده توسط روش فوق خیلی به هم نزدیک است. در یک تحقیق، تولید محاسبه شده در حدود ۳٪ از تولید حقیقی کمتر بود.

اکنون به بررسی یک مثال جامع می‌پردازیم و در آن تأثیر عوامل مختلفی نظیر مقاومت غلتشی، شیب جاده و ارتفاع را روی سرعت کامیون در نظر می‌گیریم. (نحوه محاسبه این عوامل در فصل‌های گذشته آمده است.) همچنین اثر آنالیز به‌ها را روی انتخاب صحیح تعداد کامیون‌ها بررسی می‌نماییم و در محاسبات صورت گرفته از تئوری صف استفاده می‌کنیم.

مثال:

برای اجرای پروژه‌ای نیاز به 800000 m^3 خاک کنده نشده است. نوع خاک معمولی خوب بوده و وزن آن 1600 کیلوگرم بازا هر متر مکعب خاک کنده نشده با ضریب تورم ۲۵ درصد است.

از محل قرضه نیاز به حمل خاک به مسافت متوسط $1/2$ کیلومتر در سر بالایی با شیب $2/5$ درصد است. خاکبرداری در عمق بهینه انجام می‌گیرد. شرایط کار عالی بوده و شرایط مدیریت خوب است. خاک با بیل مکانیکی ۳ متر مکعبی خاکبرداری خواهد شد که تولید احتمالی آن 350 متر مکعب خاک کنده نشده در ساعت و راندمان کار ۷۵٪ است. دیگر اطلاعات پروژه به شرح زیر است:

- مقاومت غلتشی راه موقت: 30 کیلوگرم برای هر تن وزن

- ضریب اصطکاک کششی بین لاستیک کامیون و راه موقت: بطور متوسط $0/6$ خواهد بود.

- این پروژه در ارتفاع 1600 متری از سطح دریا اجرا می‌شود.

- خاک با واگن تخلیه شونده از زیر، حمل می‌شود که ظرفیت انباشته تخمین زده شده آن 12 متر مکعب خاک کنده نشده است.

مشخصات کامیون به شرح زیر است:

ظرفیت بار قابل حمل 18000 kg ، موتور دیزلی با قدرت 200 hp ، وزن کامیون خالی 17000 kg ، وزن کامیون با بار (ناخالص)

35000 kg

سرعت در دنده‌های مختلف و کشش مورد نیاز آن :	نحوه تقسیم وزن ناخالص روی محورها		
سرعت (km/hr)	کشش زیر چرخ (kg)	دنده	۵۰۰۰kg
۵/۱۲	۹۰۲۷	۱	۱۵۰۰۰Kg
۱۰/۰۸	۴۵۸۱	۲	۱۵۰۰۰Kg
۱۹/۰۴	۲۴۲۷	۳	
۳۳/۲۸	۱۳۸۸	۴	
۵۲/۳۲	۸۸۲	۵	

- هزینه ساعتی بیل مکانیکی ۳۰۰۰۰۰ ریال و هزینه ساعتی هر کامیون ۱۵۰۰۰۰ ریال می‌باشد.
با توجه به اطلاعات داده شده تعداد کامیون بهینه را برای این پروژه بدست آورید و هزینه واحد عملیات تعیین نمایید.

حل :

- مقدار حداکثر کشش زیر چرخ کامیون بار شده توسط ضریب کشش محدود می‌شود

$$T = 15000 * 0.6 = 9000 \text{ Kg}$$

چون در ارتفاع ۱۶۰۰ متری هستیم اثر ارتفاع با رابطه زیر لحاظ می‌شود:

$$\text{افت نیروی کششی} = \frac{0.3(1600 - 300)}{300} = 13\%$$

بنابراین ضریب تصحیح نیروی کششی ۰/۸۷ می‌باشد :

$$9000 * 0.87 = 7830$$

$$7830 < 9027$$

$$7830 > 4581$$

بنابراین در دنده ۱ بکسواد خواهیم داشت دلی در دنده ۲ به بعد مشکلی وجود ندارد.

- ترکیب اثر مقاومت غلتشی و سطح شیب دار در کامیون بارشده بصورت زیر خواهد بود:

مقاومت غلتشی	→	کیلوگرم به ازای هر تن ۳۰
مقاومت شیب	→	کیلوگرم به ازای هر تن $2/5 * 10 = 25$
جمع	→	کیلوگرم به ازای هر تن ۵۵
وزن ناخالص کامیون	→	تن $35000 \div 1000 = 35$
مقدار کشش مورد نیاز در زیر چرخ	→	کیلوگرم $35 * 55 = 1925$
سرعت حداکثر کامیون پر	→	کیلومتر در ساعت ۱۹/۰۴
- ترکیب اثر مقاومت غلتشی و سطح شیب دار در کامیون خالی در هنگام برگشت بصورت زیر خواهد بود.		
مقاومت غلتشی	→	کیلوگرم به ازای هر تن ۳۰
مقاومت شیب	→	کیلوگرم به ازای هر تن $(-2/5) * 10 = -25$
جمع	→	کیلوگرم به ازای هر تن ۵
وزن کامیون خالی	→	تن $17000 \div 1000 = 17$
مقدار کشش مورد نیاز زیر چرخ	→	کیلوگرم $17 * 5 = 85$
سرعت حداکثر کامیون خالی	→	کیلومتر در ساعت ۵۲/۳۲

زمان مورد نیاز برای هر عمل در یک سیکل رفت و برگشت به صورت زیر محاسبه می‌شود :

$$\text{ساعت } 0.343 = \frac{12}{350} = \frac{\text{ظرفیت ماشین باربر}}{\text{تولید بارکن با راندمان } 100\%} = \text{زمان بارگیری}$$

$$\text{ساعت } 0.25 = \frac{1}{5} = \text{زمان از دست رفته در گودال قرضه و زمان شتاب گیری}$$

$$\text{ساعت } 0.63 = \frac{1/2}{19/0.4} = \frac{\text{مسافت حمل}}{\text{سرعت حرکت}} = \text{زمان سفر تا محل خاکریزی (رفت)}$$

$$\text{ساعت } 0.167 = \frac{1}{6} = \text{زمان تخلیه، دور زدن و شتاب گرفتن}$$

$$\text{ساعت } 0.229 = \frac{1/2}{52/32} = \frac{\text{مسافت}}{\text{سرعت حرکت}} = \text{زمان سفر تا محل قرضه (برگشت)}$$

$$\text{ساعت } 0.169 = \text{حاصل جمع زمان های فوق} = \text{مجموع زمان یک سیکل کاری}$$

- اکنون با استفاده از روش تئوری صف تعداد بهینه کامیون و هزینه واحد عملیاتی معادل آن را بدست می آوریم:

$$r = \frac{\text{ظرفیت باربر}}{\text{تولید بارکن} \times \text{زمان}} = \frac{12}{0.169 \times 350} = 0.212$$

$$n = \frac{1}{r} = \frac{1}{0.212} = 4.72 \text{ مقدار تقریبی}$$

تعداد کامیون	P_t (از جدول)	تولید تخمینی $(m^3/hr) * 0.75 * 350$	مخارج ماشین آلات (ریال در ساعت)	قیمت واحد عملیات (ریال بر متر مکعب)
۳	۰/۴۸۷	۱۲۷/۸۴	۷۵۰۰۰۰	۵۸۶۶,۷
۴	۰/۶۲۱	۱۶۳/۰۱	۹۰۰۰۰۰	۵۵۲۱,۱
۵	۰/۷۳۵	۱۹۲/۹۴	۱۰۵۰۰۰۰	۵۴۴۲,۱
۶	۰/۸۲۶	۲۱۶/۸۲	۱۲۰۰۰۰۰	۵۵۳۴,۵
۷	۰/۸۹۴	۲۳۴/۶۷	۱۳۵۰۰۰۰	۵۷۵۲,۷

بنابراین استفاده از ۵ کامیون جواب بهینه است: $(m^3/hr) = 192,94 = \text{تولید معادل}$

۳-۴-۷- محاسبه حجم عملیات خاکی اسکریپر

مانند اغلب ماشین آلات خاکبرداری تولید اسکریپر با تخمین بار متوسط در هر سیکل کار و ضرب آن در تعداد سیکل های انجام شده در یک ساعت محاسبه می گردد. برای تعیین تعداد سیکل های انجام شده در یک ساعت، مدت زمان هر سیکل باید تخمین زده شود. سیکل کار کلی عبارتست از مجموع سیکل متغیر و سیکل ثابت:

$$\text{سیکل ثابت} + \text{سیکل متغیر} = \text{سیکل کار}$$

- سیکل ثابت:

- ۱- زمان بارگیری: بهترین روش برای تخمین زمان بارگیری مشاهدات کارگاهی و تعیین دقیق زمان متوسط بارگیری یا استفاده از آمار موجود مربوط به کارهای گذشته و مشابه می باشد. بر اساس مشاهدات بسیار، نتیجه گرفته شده که این مدت زمان برای بارگیری اسکریپر دارای ماشین هل دهنده (تراکتور کمکی) زیر ۱/۵ دقیقه می باشد.
- ۲- زمان لازم برای مانور و تخلیه بار
- ۳- زمان لازم جهت تعیین محل حفاری و تخلیه و تأخیرهای ایجاد شده: عبارتست از زمانی که طول می کشد تا اسکریپر در محل مورد نظر برای کندن زمین قرار گیرد و برای تراکتور کمکی معطل شود. معمولاً این عامل در سیکل کار اسکریپر در نظر گرفته می شود، ولی در این صورت باید ضریب راندمان کار را بر این اساس تصحیح کرد.
- ۴- زمان شتاب گیری: همان زمان لازم جهت ازدیاد یا کاهش سرعت نسبت به حداکثر سرعت حمل در جاده است.
- ۵- در مجموع میزان زمانهای ثابت برای ماشین های مختلف، متفاوت است که می توان آنها را یا از طریق جداول و گرافهای شرکت سازنده ماشین یا به طریق تجربی با اندازه گیری در محل کارگاه بدست آورد.

- سیکل متغیر:

(۱) زمان حمل بار

(۲) زمان برگشت به محل بارگیری

برای تعیین زمان های متغیر می بایست ابتدا سرعت حرکت اسکریپر را پیدا کرد تا با تقسیم مسافت حمل بر سرعت متوسط، زمان حمل بدست آید. بعضی از کمپانی ها، منحنی هایی برای تعیین زمان سفر با ظرفیت پر و خالی تهیه می کنند. در اینگونه منحنی ها، تصحیح لازم جهت در نظر گرفتن شتاب گیری و کم کردن سرعت منظور شده است. در صورت در دسترس نبودن چنین منحنی هایی، راه حل کل آن است که با توجه به پارامترهایی مانند وزن ناخالصی اسکریپر، ضریب اصطکاک جاده، مقاومت غلشی، شیب و ارتفاع، سرعت متوسط حرکت اسکریپر محاسبه شده و زمان سفر از رابطه زیر محاسبه گردد:

$$\text{زمان سفر (min)} = \frac{\text{مسافت حمل (متر)}}{\text{سرعت متوسط (کیلومتر در ساعت)}} * \frac{60}{1000}$$

لازم به یاد آوری است که زمان لازم برای حمل و برگشت بستگی به فاصله سفر و سرعت متوسط وسیله نقلیه دارد و چون حمل و برگشت معمولاً در سرعت های مختلف صورت می گیرد، لازم است که زمان هر یک را بطور جداگانه تعیین کنیم. اکنون برای روشن تر شدن مطلب به ارائه مثالی می پردازیم. در این مثال فرض شده که سرعت حرکت اسکریپر را می دانیم در مثال های بعدی نحوه بدست آوردن این سرعت بیان خواهد شد.

مثال:

مطلوبست تعیین زمان سیکل یک اسکریپر جهت حمل خاک از قرضه به خاکریز با فاصله ۶۰۰m، تحت شرایط زمان ثابت متوسط با سرعت ثابت حمل ۱۹ کیلومتر در ساعت و سرعت برگشت ۳۸ کیلومتر در ساعت.

حل :

زمان تأخیر برای تعیین محل حفاری + زمان شتاب گیری + زمان تخلیه و دور زدن + زمان بارگیری = زمان ثابت

دقیقه $۲/۵ = ۱ + ۰/۵ + ۰/۸ + ۰/۲$ = زمان ثابت

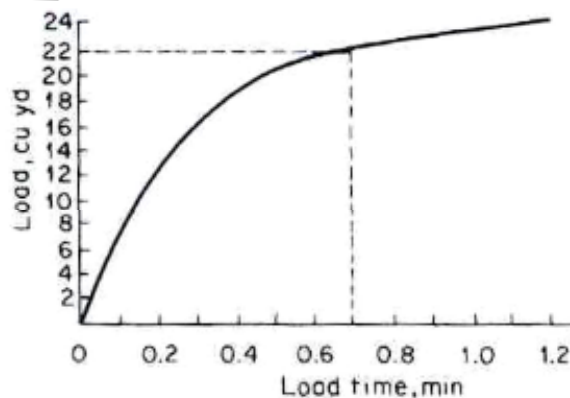
$$\text{دقیقه } ۱/۹ = \frac{\text{مسافت حمل}}{\text{سرعت حمل}} * \frac{۶۰}{۱۰۰۰} = \frac{۶۰ \times ۶۰}{۱۹ \times ۱۰۰۰}$$

$$\text{دقیقه } ۱ = \frac{\text{مسافت برگشت}}{\text{سرعت برگشت}} * \frac{۶۰}{۱۰۰۰} = \frac{۶۰ \times ۶۰}{۳۸ \times ۱۰۰۰}$$

دقیقه $۵/۴ = ۲/۵ + ۱/۹ + ۱$ = مدت زمان یک سیکل کاری اسکریپر

- بکار بردن منحنی بار- رشد در بارگیری اسکریپر:

بدون یک ارزیابی دقیق از اطلاعات موجود، ممکن است در مرحله اول اینطور به نظر برسد که کمترین هزینه جابجایی خاک با اسکریپر در صورتی به دست می‌آید که هر اسکریپر با حداکثر ظرفیت خود قبل از اینکه محل خاکبرداری را ترک نماید بارگیری کند. مطالعات متعددی بر روی بارگیری عملی آشکار نموده است که بارگیری اسکریپرها در حداکثر ظرفیتشان معمولاً به جای افزایش، باعث کاهش میزان تولید خواهد شد. زیرا هنگامیکه یک اسکریپر شروع به بارگیری می‌نماید، خاک سریع و براحتی بداخل آن جریان پیدا می‌کند، اما همانطوریکه مقدار خاک در محفظه افزایش یافت، خاک‌های وارده با مقاومت زیادتری مواجه خواهند شد و میزان بارگیری کاملاً سریع کاهش خواهد یافت. رابطه بین بار در اسکریپر و زمان بارگیری در شکل ۳-۱۶ نشان داده شده است. (هر یارد $۰/۷۳$ متر مکعب می‌باشد) این شکل منحنی بار- رشد می‌باشد و اطلاعات آن از یک مطالعه کارگاهی بر روی تولید اسکریپر بدست آمده است.



شکل ۳-۱۶- منحنی بار- رشد

- محاسبه حجم عملیات ساعتی با اسکریپر:

اکنون با توجه به مطالب بیان شده در قسمت‌های قبل در مورد محاسبه مدت زمان سیکل کاری اسکریپر و ظرفیت بهینه آن از طریق منحنی بار رشد در این قسمت می‌توانیم میزان تولید ساعتی یک اسکریپر را طبق فرمول زیر بدست آوریم که در واقع همان ضرب مقدار بار متوسط حمل شده برای هر بار اجرای عملیات در تعداد سیکل‌های انجام شده در یک ساعت می‌باشد. البته با در نظر گرفتن عواملی چون تغییر حجم خاک و راندمان ماشین.

$$Q = \frac{C \times E \times ۶۰}{T \times f}$$

Q = حجم عملیات خاکی در یک ساعت، بر حسب متر مکعب (m^3/hr)

C = ظرفیت بار قابل حمل، بر حسب متر مکعب (m^3)

f = ضریب تبدیل خاک

E = بازده اسکریپر

T = مدت زمان یک سیکل کاری بر حسب دقیقه (min)

۱- **ظرفیت بار قابل حمل (C):** معمولاً برابر با ظرفیت جام اسکریپر در حالت پر یا انباشته می‌باشد. ظرفیت پر وقتی حاصل می‌شود که جام اسکریپر لب به لب پر شده و سطح افقی صافی از خاک پر شده بوجود آمده باشد، در حالیکه ظرفیت انباشته موقعی است که بارگیری جام بوسیله یک بارکن طوری انجام شود که ارتفاع خاک در وسط جام به حداکثر ممکن برسد.

۲- **ضریب تبدیل خاک (f):** ظرفیت جام اسکریپرها بر حسب حجم خاک کنده شده مشخص شده است. لذا با اعمال این ضریب می‌توان حجم خاک را بر حسب خاک کنده نشده محاسبه نمود.

۳- **بازده اسکریپر (E):** بازده اسکریپر بر حسب چگونگی مدیریت و سرپرستی، میزان مهارت راننده اسکریپر، وجود تراکتور کمکی در تمام مدت اجرای عملیات، نگهداری و تعمیر مداوم ماشین آلات و ترمیم و تعمیر راه موقت و بالاخره شرایط محلی فرق می‌کند.

۴- **مدت زمان یک سیکل کاری (T):** در بخش‌های قبل در این مورد توضیحات کاملی ارائه شده است.

در ادامه مثالی جامع در مورد محاسبه حجم عملیاتی یک اسکریپر آورده شده است:

مثال:

در کارگاهی به ارتفاع ۱۵۰۰ متر از سطح دریا برای حمل یک نوع خاک رسی ماسه‌دار و کوبیدن آن با غلتک از یک اسکریپر استفاده می‌شود. مطلوبست محاسبه میزان تولید ساعتی با استفاده از اطلاعات زیر:

تراکتور اسکریپر، ظرفیت پر ۱۵ متر مکعب، ظرفیت انباشته با شیب ۳:۱، ۲۰/۵ متر مکعب می‌باشد.

وزن خالص دستگاه اسکریپر ۲۷۰۰۰ کیلوگرم است.

وزن بر روی محور متحرک در حالت خالی ۱۷۰۰۰ کیلوگرم و در حالت پر ۷۰٪ وزن ناخالص اسکریپر است.

خاک رسی ماسه دار، با تورم ۳۳٪، وزن مخصوص ۱۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

مقاومت غلتشی ۵۰ کیلوگرم بر تن می‌باشد و ضریب اصطکاک کششی ۰/۶ است. راندمان کار ۸۰٪ است.

مسیر حمل و نقل :

قسمت ۱ : منطقه بارگیری که مسطح است.

قسمت ۲ : سراشیب به طول ۳۰۰ متر و شیب ۴٪ سرپایینی

قسمت ۳ : منطقه تخلیه بار که مسطح است

قسمت ۴ : بازگشت به محل بارگیری، به طول ۳۰۰ متر و شیب ۴٪ سربالایی

قسمت ۵ : محل دور زدن در منطقه بارگیری، مسطح به طول ۸۰ متر

جدول زیر نیروی کششی و سرعت حرکت اسکرپر در دنده‌های مختلف که با تراکتور کشیده می‌شود را نشان می‌دهد:

دنده	سرعت (km/h)	نیروی کششی (kg)
۱	۲/۴	۱۴۷۴۰
۲	۳/۵	۱۰۳۰۰
۳	۵	۶۸۰۰
۴	۷/۴	۴۶۶۰
۵	۹/۵	۳۷۰۰

حل:

ابتدا سرعت حرکت را در قسمت‌های مختلف عملیات بدست آورده و با توجه به آن مدت زمان سیکل کاری را محاسبه نموده و

در پایان حجم عملیاتی را تخمین می‌زنیم:

- محاسبه وزن ناخالص اسکرپر:

- با فرض اینکه از ظرفیت انباشته آن استفاده می‌شود:

$$\text{وزن بار} = \frac{۲۰/۵(m^3) \times ۱۸۰۰(kg/m^3)}{۱۰۰۰} = ۳۶/۹ \text{ ton}$$

$$\text{وزن ناخالص اسکرپر} = \text{وزن خالص} + \text{وزن بار} = ۳۶/۹ + ۲۷ = ۶۳/۹ \text{ ton}$$

$$\text{وزن بر روی محور محرک} = ۱۷ \text{ ton} \text{ در حالت خالی: وزن بر روی محور محرک}$$

$$\text{در حالت پر} = ۰/۷ * ۶۳/۹ = ۴۴/۷۳ \text{ ton}$$

- محاسبه مقاومت کل:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{مقاومت شیب} = -۴\% \text{ شیب} \rightarrow \text{حمل مواد} \\ \text{مقاومت شیب} = +۴\% \text{ شیب} \rightarrow \text{بازگشت} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{مقاومت غلشی} + \text{مقاومت شیب} = \text{مقاومت کل} \\ \text{حمل مواد} \quad ۵۰ - ۴۰ = ۱۰ \\ \text{بازگشت} \quad ۵۰ + ۴۰ = ۹۰ \\ \text{دور زدن} \quad ۵۰ + ۰ = ۵۰ \end{array} \right.$$

$$\text{مقاومت شیب} = ۰ \text{ شیب } ۰\% \rightarrow \text{دور زدن}$$

- محاسبه نیروی کششی لازم زیر چرخ‌ها:

$$\text{وزن} * \text{مقاومت کل} = \text{نیروی کششی لازم زیر چرخ‌ها} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{حمل مواد} \quad ۱۰ * ۶۳/۹ = ۶۳۹ \text{ kg} \\ \text{بازگشت} \quad ۹۰ * ۲۷ = ۲۴۳۰ \text{ kg} \\ \text{دور زدن} \quad ۵۰ * ۲۷ = ۱۳۵۰ \text{ kg} \end{array} \right.$$

- محاسبه محدودیت از نظر اصطکاک:

$$\text{خالی} = ۱۷۰۰۰ * ۰/۶ = ۱۰۲۰۰ \text{ kg}$$

$$\text{همراه با بار} = ۴۴۷۳۰ * ۰/۶ = ۲۶۸۴۰ \text{ kg}$$

چون حداقل اصطکاک تولید شده همیشه از ماکزیمم نیروی کششی مورد نیاز بیشتر است. اصطکاک در این مورد عامل

تعیین کننده نیست.

- اثر ارتفاع بر نیروی کششی : ارتفاع باعث کاهش نیروی کششی می شود که میزان تقلیل معادل ۳ درصد کاهش برای هر ۳۰۰ متر ازدیاد ارتفاع می باشد:

$$\text{ضریب تقلیل} = \frac{(1500 - 300) \times 100}{300} = 12\%$$

لذا نیروهای کششی داده شده در جدول اصلاح می شود (در ۰/۸۸ ضرب می گردد)

دنده	سرعت (km/h)	نیروی کششی (kg)	نیروی کششی اصلاح شده (kg)
۱	۲/۴	۱۴۷۴۰	۱۲۹۷۱
۲	۳/۵	۱۰۳۰۰	۹۰۶۴
۳	۵	۶۸۰۰	۵۹۸۴
۴	۷/۴	۴۶۶۰	۴۱۰۰
۵	۹/۵	۳۷۰۰	۳۲۵۶

- تعیین سرعت در هر قسمت از عملیات: با توجه به نیروی کششی لازم در زیر چرخها که در مرحله قبل بدست آمد و مقایسه آن با نیروی کششی اصلاح شده داریم:

$$\text{سرعت} \rightarrow \begin{cases} \text{در دنده ۵} & 9/5 \text{ (km/h)} \text{ حمل مواد} \\ \text{در دنده ۴} & 7/4 \text{ (km/h)} \text{ بازگشت} \\ \text{در دنده ۵} & 9/5 \text{ (km/h)} \text{ دور زدن} \end{cases}$$

- محاسبه زمان عملیات (T) : با بدست آوردن سرعت های اسکریپر برای هر قسمت از مسیر عملیات در مرحله قبل اکنون می توان زمان کامل یک سیکل کاری را بدست آورد که مجموعه ای از زمان های ثابت و متغیر می باشد. (زمان های ثابت در این مثال برای یک اسکریپر خاص فرض شده است):

$$\left. \begin{array}{l} \text{زمان های ثابت} \\ \text{بارگیری} \quad 0/8 \text{ min} \\ \text{مانور و تخلیه} \quad 0/6 \text{ min} \\ \text{شتاب گیری} \quad 0/5 \text{ min} \\ \text{معطلی و زمان لازم برای قرار گرفتن در محل} \quad 0/6 \text{ min} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{زمان های متغیر} \\ \text{حمل مواد} \quad = \frac{300 \times 60}{9/5 \times 1000} = 1/9 \text{ min} \\ \text{بازگشت} \quad = \frac{300 \times 60}{7/4 \times 1000} = 2/4 \text{ min} \\ \text{دور زدن} \quad = \frac{80 \times 60}{9/5 \times 1000} = 0/5 \text{ Min} \end{array}$$

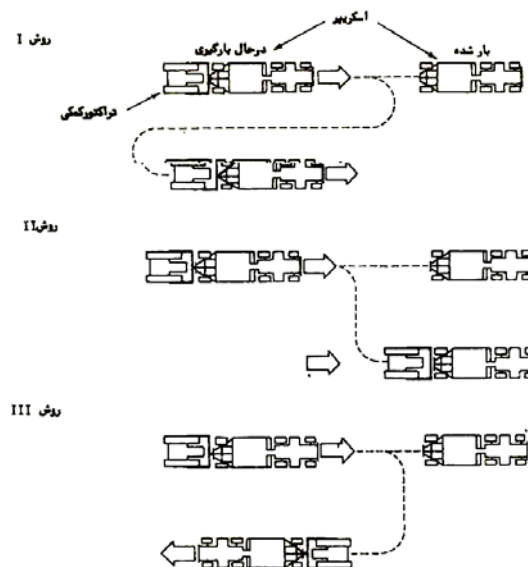
$$7/3 \text{ min} = \text{زمان های متغیر} + \text{زمان های ثابت} = \text{حجم کل زمان یک سیکل کاری (T)}$$

- محاسبه حجم عملیات خاکی:

$$Q = \frac{C * E * 60}{T * f} = \frac{20/5 \times 0/8 \times 60}{7/3 \times 1/33} = 101/35 \text{ (m}^3\text{/hr)}$$

– بارگیری با استفاده از تراکتور کمکی:

معمولاً اسکرپرها برای دستیابی به کارکرد بهینه و تولید ماکزیمم احتیاج به تراکتور کمکی دارند. روش‌های استفاده از تراکتورهای کمکی، تعیین تعداد تراکتورهای لازم و تخمین مخارج کار این سیستم در این قسمت شرح داده خواهد شد. سه روش اساسی برای استفاده از تراکتور کمکی در شکل ۳-۱۷ نشان داده شده است. روش شماره ۱ از سایر روش‌ها کندتر است. زیرا مسافت بین نقاط بار زدن بیشتر از سایر روش‌هاست. روش‌های ۲ و ۳ دارای راندمان تقریباً یکسان می‌باشند. انتخاب روش تابع طول ناحیه حفاری و همچنین امکان یا عدم امکان حرکت اسکرپیر در دو جهت مخالف هم در منطقه حفاری می‌باشد.



شکل ۳-۱۷- روشهای بارگیری اسکرپرها به وسیله تراکتور کمکی

سیکل کلی تراکتور عبارتست از مجموع مدت زمان‌های ذکر شده در معادله زیر:

زمان انتقال + زمان برگشت + زمان شتابدهی اسکرپیر + زمان بارگیری = سیکل تراکتور کمکی
 زمان بارگیری عبارت از زمان لازم جهت بارگیری اسکرپیر می‌باشد. زمان شتابدهی به اسکرپیر مدت زمانی است که تراکتور پس از پایان عملیات بارگیری اسکرپیر در تماس با اسکرپیر باقی می‌ماند تا با فشار به آن به اسکرپیر کمک کند تا شتاب لازم را جهت خروج از منطقه حفاری کسب کند. مدت زمان برگشت، مدت زمان لازم برای تراکتور کمکی جهت ایجاد تماس با اسکرپیر و آغاز یک سیکل بارگیری جدید می‌باشد.

تعداد تراکتورهای کمکی لازم:

تعداد اسکرپرهایی که می‌توانند به طور کامل سرویس بگیرند (یعنی هیچگاه اسکرپیری برای یک تراکتور کمکی معطل نماند) با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\text{سیکل کار اسکرپیر} = \frac{\text{سیکل کار اسکرپیر}}{\text{سیکل کار تراکتور کمکی}}$$

توصیه می‌شود که نتیجه حاصل تا یک رقم اعشار گرد گردد و سپس در رابطه زیر بکار رود که تعداد تراکتورهای لازم برای یک گروه اسکرپیر را محاسبه می‌کند:

$$\text{تعداد تراکتورهای کمکی لازم} = \frac{\text{تعداد اسکرپیر}}{\text{تعداد اسکرپیروهایی که از یک تراکتور کمکی سرویس}}$$

در زیر مثالی ارائه خواهد شد و در آن علاوه بر محاسبه تعداد تراکتور لازم برای یک گروه اسکرپیر، روش محاسبه مخارج عملیات نیز شرح داده می‌شود.

مثال:

مطلوبست محاسبه تعداد تراکتورهای کمکی برای یک گروه ۶ تایی از اسکرپیروها. شرایط کار نظیر شرایط داده شده در مثال قبل می‌باشد. فرض می‌شود سیکل کاری هر تراکتور کمکی ۱/۲ دقیقه می‌باشد. همچنین با توجه به اطلاعات جدول زیر مخارج عملیات را برای ناوگان ماشین‌آلات داده شده در این عملیات برای واحد حجم عملیات محاسبه کنید.

مخارج (ریال بر ساعت)	ماشین آلات و تعداد آنها
۵۰۰,۰۰۰	اسکرپیر (۶ دستگاه)
۴۰۰,۰۰۰	تراکتور کمکی
۱۵۰,۰۰۰	گریدر (۱ دستگاه)
۲۰۰,۰۰۰	غلتک (۱ دستگاه)

حل:

$$\text{تعداد اسکرپیروها برای هر تراکتور} = \frac{۷/۳}{۱/۲} = ۴/۰۸$$

$$\text{تعداد تراکتورهای مورد نیاز} = \frac{۶}{۴/۰۸} = ۰/۹۸ \text{ (به یک گرد شود)}$$

$$\text{مخارج عملیات گروه ماشین آلات} = \frac{۶ \times ۵۰۰۰۰۰ + ۱ \times ۴۰۰۰۰۰ + ۱۵۰۰۰۰ + ۲۰۰۰۰۰}{۶ \times ۱۰۱/۳۵} = ۶۱۶۶/۷ \frac{\text{ریال}}{m^۳}$$

۳-۵- ارتباط ماشین آلات همکار ماشین های خاکی

از آنجایی که در انجام عملیات خاکی به ندرت ماشین آلات به صورت تک مورد استفاده قرار گرفته و معمولاً در یک گروه با یکدیگر همکاری می کنند، بررسی نحوه ارتباط بین آنها ضروری می باشد. با توجه به موارد ذکر شده در بند گذشته، هر عملیات خاکی در گام های پاکسازی، سست کردن زمین، خاکبرداری، انتقال مواد حفر شده، بستر سازی و تراکم انجام می گیرد. با توجه به اینکه هر یک از این گام ها با یک یا چند ماشین خاص انجام می گیرد، بنابراین در عملیات خاکی چندین ماشین به صورت همزمان و وابسته به یکدیگر کار می کنند. در یک گروه همکار از آنجایی که تولید یک یا چند ماشین توسط ماشین بعدی مورد استفاده قرار می گیرد، بررسی و بهینه کردن خط تولید در عملیات خاکی امری ضروری می باشد. در این قسمت با ذکر دو مثال به بررسی روند برخورد با ماشین آلات همکار و بهینه سازی میزان تولید آنها می پردازیم.

مثال: یک پیمانکار با داشتن ماشین آلات زیر می خواهد عملیات خاکی با مشخصات مشروح را انجام دهد. میزان تولید را تخمین

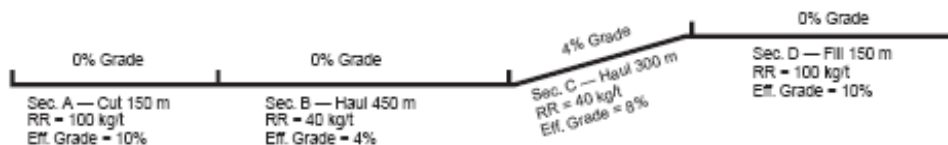
بزنید.

تجهیزات:

- ۱۱ اسکرپور چرخ لاستیکی E ۶۳۱ (کاترپیلار)
 ۱ غلطک C ۸۲۵ (کاترپیلار)

مشخصات رس ماسه دار مرطوب:

$1770 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ (BCM)	چگالی دستخورده (کنده نشده)
۰/۸۵	ضریب تراکم
۱/۲۵	ضریب تورم
۰/۵	ضریب کشش
۲۳۰۰ متر از سطح دریا	ارتفاع
۵۰/۶۰	ضریب راندمان



شکل ۳-۱۸ - منحنی شیب زمین

۱- محاسبه وزن تخمینی اسکرپور :

اسکرپور	چگالی کنده نشده * (LCM) ظرفیت	اسکرپور
	ضریب تورم	
$\frac{24 \times 1770}{1.25} =$	۳۴۰۰۰	وزن خاک kg

$$\frac{40000}{74000} \text{ kg}$$

وزن دستگاه خالی kg

وزن کل kg

۲- محاسبه حد نیروی کششی :

درصد وزن روی محور متحرک در حالت پر ۰/۵۴

درصد وزن روی محور متحرک در حالت خالی ۰/۶۹

ضریب کشش * وزن کل * درصد وزن روی محور متحرک = نیروی کششی

$$0.54 * 74000 * 0.5 = 19980 \text{ kg} \quad \text{پر}$$

$$0.69 * 74000 * 0.5 = 13800 \text{ kg} \quad \text{خالی}$$

۳- ضریب کاهش تأثیر ارتفاع :

$$631E \text{ اسکرپر} \quad 100\%$$

$$825C \text{ غلطک} \quad 94\%$$

۴- مقایسه مقاومت کل با نیروی کششی برای جلوگیری از لغزش چرخ روی خاک و زمان رفت

مقایسه مقاومت کل با نیروی کششی :

$$\text{secA} : 100 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \times 74 = 7400 \quad \text{kg} \quad \text{غلتش}$$

$$\text{secB} : 40 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \times 74 = 2960 \quad \text{kg} \quad \text{غلتش}$$

$$\text{secC} : 40 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \times 74 = 2960 \quad \text{kg} \quad \text{غلتش}$$

$$10 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \times 74 \times 0.4 = 2960 \quad \text{kg} \quad \text{مقاومت شیب}$$

مجموع ۵۹۲۰

$$\text{secD} : 100 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \times 74 = 7400 \quad \text{kg} \quad \text{غلتش}$$

همانگونه که مشاهده می شود مقاومت حداکثر مورد نیاز ۷۴۰۰ کیلوگرم می باشد در حالی که مقاومت موجود در حالت بارگیری

شده ۱۹۹۸۰ کیلوگرم می باشد. بنابراین امکان لغزش چرخ روی خاک در زمان رفت وجود ندارد.

محاسبه زمان رفت با استفاده از منحنی ها:

$$\text{secA} : 0.6$$

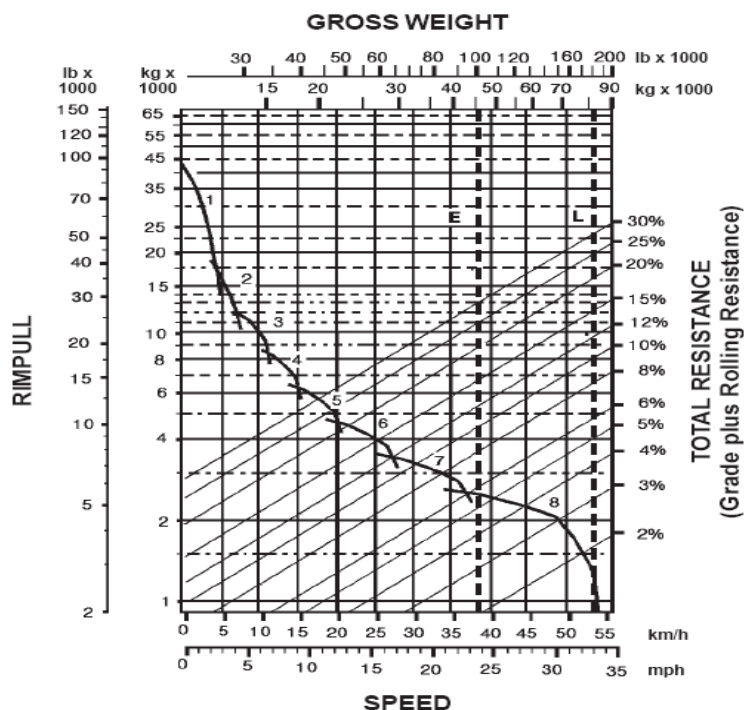
$$\text{secB} : 1$$

$$\text{secC} : 1/2$$

secD : ۰/۶

۳/۴ min

برای هر قطعه از مسیر با توجه به شیب موثر و وزن پر (زیرا ماشین در حالت رفت پر است) از شکل ۳-۱۹، سرعت ماشین در هر قطعه به دست آمده و از تقسیم طول هر قطعه بر سرعت به دست آمده زمان مورد نیاز برای طی مسیر به دست می‌آید. به عنوان نمونه نحوه استفاده برای قطعه A در شکل ۳-۱۹ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۹- نمودار اسکریپر مدل ۶۳۱ G کاتریلار

البته باید توجه داشت که زمان محاسبه شده، زمان تخمینی بوده، زیرا زمانهای شتابگیری و کاهش شتاب در آن در نظر گرفته نشده و نتایج حاصل از این محاسبات چندان دقیق نخواهد بود.

۵- مقایسه مقاومت غلتشی کل با نیروی کششی برای جلوگیری از لغزش چرخ روی خاک و زمان برگشت:

secA = ۱۰۰ * ۴۰ = ۴۰۰۰ kg غلتش

secB = ۴۰ * ۴۰ = ۱۶۰۰ kg غلتش

secC = ۴۰ * ۴۰ = ۱۶۰۰ kg غلتش

-۱۰ * ۴۰ * ۴ = -۱۶۰۰ kg شیب → مقاومت کل صفر می‌شود

secD = ۱۰۰ * ۴۰ = ۴۰۰۰ kg غلتش

همانگونه که مشاهده می شود مقاومت حداکثر مورد نیاز زمان برگشت ۴۰۰۰ کیلوگرم می باشد و مقاومت موجود در حالت خالی ۱۳۸۰۰ کیلوگرم می باشد. بنابراین امکان لغزش چرخ روی خاک در زمان برگشت وجود ندارد.

محاسبه زمان برگشت با استفاده از منحنی:

$$\text{secD} : ۰,۴ \text{ min}$$

$$\text{secC} : ۰,۵۵ \text{ min}$$

$$\text{secB} : ۰,۸ \text{ min}$$

$$\text{secA} : ۰,۴ \text{ min}$$

$$۲/۱۵ \text{ min}$$

۶- محاسبه زمان های انجام عملیات:

$$\text{زمان لازم برای رفت و برگشت} = ۲/۱۵ + ۳/۴ = ۵/۵۵ \text{ min}$$

$$\text{زمان بارگیری (فرض می شود)} = ۰/۷ \text{ min}$$

$$\text{زمان مانور و پخش مواد (فرض می شود)} = ۰/۷ \text{ min}$$

$$\frac{۶}{۹۵} \text{ min}$$

۷- کنترل ترکیب اسکریپر و ماشین هل دهنده:

(از آنجایی که اطلاعات کافی در دسترس نیست ما از فرضهای زیر استفاده می کنیم).

$$\text{زمان تنظیم} = ۰/۱ \text{ min}$$

$$\text{زمان بارگیری اسکریپر} * ۱/۴ = \text{زمان برگشت}$$

$$\text{زمان مانور} = ۰/۱۵ \text{ min}$$

$$\text{زمان کل لازم} = ۱/۴ * ۰/۷ + ۰/۲۵ + ۱/۴ * ۰/۷ + ۰/۲۵ = ۱/۲۳ \text{ min}$$

حال از تقسیم زمان سیکل کاری اسکریپر بر این زمان تعداد اسکریپرهایی که توسط یک ماشین هل دهنده حمایت می شوند

بدست می آید.

$$n = \frac{۶/۹۵}{۱/۲۳} = ۵/۶۵$$

هر کدام از بولدوزرها می تواند ۵/۶۵ اسکریپر را تحت پوشش قرار دهد. بنابراین دو بولدوزر می توانند ۱۱ اسکریپر را تحت پوشش

قرار دهند.

۸- تخمین میزان تولید:

$$\text{سیکل در ساعت} = \frac{\text{دقیقه } ۶۰}{۶/۹۵} = ۸/۶ = \text{تعداد سیکل کاری در ساعت}$$

$$\text{(BCM)} \quad ۱۹/۲ = ۲۴ \text{ (LCM)} / ۱/۲۵ = \text{میزان بارگیری در یک سیکل}$$

$$\text{(BCM)} \quad ۱۶۵ = ۱۹/۲ * ۸/۶ = \text{میزان بارگیری در ساعت}$$

$$\text{(BCM)} \quad ۱۳۷ = ۱۶۵ * \frac{۵۰}{۶۰} = \text{تأثیر ضریب راندمان}$$

$$\text{(BCM)} \quad ۱۵۰۷ = ۱۱ * ۱۳۷ = \text{میزان تولید گروه کاری}$$

۹- تخمین میزان تراکم:

$$\text{CCM} \quad ۱۲۸۰ = ۰/۸۵ * ۱۵۰۷ = \text{میزان تولید گروه} * \text{ضریب تراکم} = \text{میزان تراکم}$$

متر ۲/۲۶ = عرض متراکم کردن (W)

ساعت/کیلومتر ۹/۶ = سرعت متراکم کردن (S)

سانتی متر ۱۸ = ضخامت لایه (L)

متر ۳ = تعداد عبور لازم (P)

$$\frac{\text{CCM}}{\text{ساعت}} \quad \text{میزان تراکم} = \frac{W \times S \times L \times ۱۰}{P} = \frac{۲/۲۶ \times ۹/۶ \times ۱۸ \times ۱۰}{۳} = ۱۳۰۲$$

میزان خاک متراکم شده که (CCM) ۱۳۰۲ شده است نشان می‌دهد که غلتک انتخاب شده پاسخگوی گروه کاری ماشین آلات است. زیرا خاک متراکم شده تولیدی توسط گروه همکار ۱۲۸۰ (CCM) می‌باشد. ولی اگر میزان تولید گروه کاری افزایش پیدا کند دیگر غلتک موجود پاسخگو نخواهد بود. لازم به ذکر است که در این مثال یک گروه ماشین همکار از پیش تعیین شده را از لحاظ کفایت تعداد و حجم تولید مرتبط با یکدیگر بررسی کردیم. در مثالهای دیگری تعیین تعداد ماشین لازم مرتبط را انجام خواهیم داد.

مثال: یک لودر با ظرفیت متوسط جام $۱,۵ \text{ m}^3$ دارای میزان تولید ۸۰ متر مکعب در ساعت و راندمان ۰/۷۵ است. کامیون‌های در نظر گرفته شده برای سرویس گرفتن از این لودر دارای ظرفیت ۳ و ۴/۵ متر مکعب می‌باشند. با توجه به اطلاعات داده شده در زیر، حساب کنید که چند کامیون و با چه ظرفیتی باید مورد استفاده قرار گیرد تا مخارج بارگیری و حمل کمینه گردد. در این حالت مقدار تولید سیستم چقدر است؟

- مخارج ساعتی لودر ۳۰۰۰۰ تومان در ساعت

- ارقام مربوط به کامیون‌ها به شرح زیر است.

ظرفیت کامیون (مترمکعب)	مخارج (تومان در ساعت)	زمان سفر (ساعت)
۳	۱۵۰۰۰	۰/۵
۴/۵	۲۰۰۰۰	۰/۵۳

$$\text{مدت زمان بارگیری کامیون ۳ متر مکعبی} = \frac{۳}{۸۰} = ۰/۰۳۷۵ \text{ hr}$$

$$\text{مدت زمان بارگیری کامیون ۴/۵ متر مکعبی} = \frac{۴,۵}{۸۰} = ۰/۰۵۶۲۵ \text{ hr}$$

$$\text{تعداد کامیون های ۳ متر مکعبی} = \frac{۰/۰۳۷۵ + ۰/۰/۵}{۰/۰۳۷۵} = ۱۴ / ۳۳$$

$$\text{تعداد کامیون های ۴/۵ متر مکعبی} = \frac{۰/۰۵۶۲۵ + ۰/۰/۵۳}{۰/۰۵۶۲۵} = ۱۰ / ۴۲$$

به عنوان نمونه میزان تولید ۱۴ کامیون ۳ متر مکعبی به صورت زیر به دست می آید:

$$\text{میزان تولید} = ۱۴ / (۱۴ / ۳۳) * ۰ / ۷۵ * ۸۰ = ۵۸ / ۶۲$$

به همین ترتیب نتایج این محاسبات در جدول زیر ارائه شده است.

اندازه مترمکعب	تعداد	تولید (m ^۳ /hr)	مخارج کل سیستم (ساعت/تومان)	مخارج عملیات (مخارج کل سیستم) تولید
۳	۱۴	۵۸/۶۲	۲۴۰۰۰۰	۴۰۹۴/۱۷
۳	۱۵	۶۰	۳۹۰۰۰۰	۶۵۰۰
۴/۵	۱۰	۵۷/۵۸	۲۳۰۰۰۰	۳۹۹۴/۴۴
۴/۵	۱۱	۶۰	۲۵۰۰۰۰	۴۱۶۶/۶۷

بنابراین استفاده از ۱۰ کامیون ۴/۵ متر مکعبی جواب بهینه است.

$$\text{تولید معادل} = ۵۷/۵۸ \text{ m}^۳/\text{hr}$$

۳-۶- ارتباط حجم عملیات با تعداد ماشین آلات

در این فصل چگونگی برنامه ریزی اجرایی پروژه های عملیات خاکی با توجه به حجم پروژه و انتخاب صحیح ناوگان ماشین آلات شرح داده می شود. تعیین گروه های کاری ماشین آلات برای هر عملیات و اثر آن روی زمان آن عملیات و هزینه متناظر آن برای یک پروژه با برنامه ریزی مشخص، در فصل بعد مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

برنامه ریزی یک واژه کلی است که مراحل و اهداف آن بسته به نوع برنامه ریزی متفاوت است. روند برنامه ریزی مهمترین اصل در موفقیت پروژه های ساخت است. تجربه نشان می دهد که هزینه پروژه هایی که با برنامه ریزی ضعیف انجام می شوند، تا ۵۰ درصد بیشتر از مواردی است که با برنامه ریزی مناسب به پایان رسیده اند. در حال حاضر تجربه و روشهای سنتی بالاترین سهم را در برنامه ریزی پروژه های مختلف عمرانی بر عهده دارند. سیستم های مهندسی عمران سعی می کنند تا چارچوب هایی پایه ای را، نه به منزله جایگزینی برای تجربه بلکه برای افزایش کارایی آن، به منظور یک تصمیم گیری نظام مند فراهم نمایند. با استفاده از یک مهندسی سیستماتیک باید بتوان رفتار پروژه طراحی شده مهندسی عمران را تحت شرایط کاری آن تحلیل و پیش بینی نمود. این کار بطور معمول از طریق ساختن مدل ریاضی مناسبی که در بردارنده قوانین معلوم فیزیکی است، صورت می گیرد. حل این مدل ریاضی

به یافتن مقادیری عددی برای پارامترهای رفتاری سیستم منجر می‌شود. فرایند تصمیم‌گیری نظام‌مند را می‌توان به صورت چهار سؤال زیر مطرح کرد:

- ۱- چه تصمیماتی باید گرفت؟
 - ۲- این تصمیمات چه ارتباطی با یکدیگر دارند و عوامل خارجی محدود کننده آنها کدام است؟
 - ۳- چه معیاری برای تعریف خوبی یا بدی تصمیم‌گیری‌ها وجود دارد؟
 - ۴- چگونه می‌توان بهترین تصمیمات را گرفت؟
- سوالات بالا روش تصمیم‌گیری نظام‌مند را تعریف می‌کنند. با جواب دادن به این سوالات می‌توان به اطلاعات کافی برای تصمیم‌گیری خوب (همچون متغیرهای تصمیم، مجموعه روابط بین متغیرهای تصمیم، معیار کارایی تصمیمات به صورت تابعی از این متغیرها و سرانجام روش حل مدل) دست یافت. بدین ترتیب روش نظام‌مند مورد نظر را نیز می‌توان به صورت مدل ریاضی، که هریک از مراحل آن به گونه‌ای به چهار سؤال اساسی بالا مرتبط هستند، بیان کرد. اکنون به بررسی این مسئله در پروژه‌های عملیات خاکی می‌پردازیم.

در هر پروژه ساخت یک سیستم با چهار قید هدف، هزینه، زمان و منابع اعمال می‌گردد. تمامی این قیود تابع یکدیگر هستند زیرا تغییر در هر یک، سبب تغییر در دیگری می‌شود. در تمام مدت طول عمر پروژه هزینه مهمترین پارامتر می‌باشد. منابع معمولاً دارای محدودیت هستند. در یک پروژه عملیات خاکی که در آن هدف معمولاً برداشت خاک، جابجایی آن، ریختن و انجام عملیات روی خاک ریخته شده می‌باشد، مدیر پروژه می‌بایست برای منابع مورد نیاز در دراز مدت و کوتاه مدت برنامه‌ریزی کند تا منابع در موقع نیاز در دسترس قرار گیرد. معمولاً منابع به نیروی انسانی، تجهیزات و ماشین‌آلات و مصالح تقسیم می‌شوند. در عملیات خاکی، ماشین‌آلات مهمترین و پرهزینه‌ترین منابع موجود می‌باشند.

برای محاسبه و انتخاب ماشین‌آلات مورد نیاز در یک پروژه عملیات خاکی از نرخ تولید آنها استفاده می‌شود. در عمل همواره پیمانکاران در آماده و مهیا کردن ماشین‌آلات محدودیت دارند. کمبود این منابع اصلی می‌تواند نقش موثری در شروع، انجام و تکمیل فعالیتها داشته باشد و سبب گردد که مدت پروژه بیشتر از مدت پیش‌بینی شده گردد. بنابراین در یک پروژه عملیات خاکی هدف اصلی، حداقل کردن هزینه کلی عملیات می‌باشد. برای ایجاد تصویری صحیح از مساله می‌بایست ابتدا معلومات و مجهولات مساله را مشخص نمائیم.

معلومات مساله شامل حجم کلی عملیاتی پروژه، مدت زمانی که می‌بایست پروژه طی آن زمان به اتمام برسد و همچنین تعداد و مشخصات کلیه ناوگان هایی که می‌توان از آنها برای این پروژه استفاده نمود و همچنین میزان تولید و هزینه متناظر برای هر ناوگان می‌باشند. در مقابل مجهول مساله برنامه‌ریزی دقیق اجرای عملیات می‌باشد یعنی چه حجمی از خاک از کجا به کجا توسط چه ناوگانی منتقل گردد.

در سالهای اخیر پیشرفت‌های چشمگیری در رابطه با بررسی اندرکنش احجام و روشهای اجرای عملیات خاکی با ماشین‌آلات مرتبط و انتخاب بهینه آنها از لحاظ نوع، ظرفیت و تعداد صورت گرفته است. در این قسمت دو روش مرسوم برای حل این مسئله مورد بررسی قرار خواهند گرفت:

۳-۶-۱- استفاده از مدل برنامه ریزی خطی

یکی از راههایی که می توان به وسیله آن پروژه های عملیات خاکی را مدل نموده و با اعمال قیود، مدل ساخته شده را به واقعیت نزدیک کرد، مدل برنامه ریزی خطی می باشد. به دلیل وجود محدودیت هایی در استفاده از دیاگرام امروزه استفاده از مدل خطی در اختصاص عملیات خاکی با کمترین هزینه، رواج یافته است.

استفاده از مدل خطی برای پروژه های عملیات خاکی ابتدا توسط (Stark and Nicholls ۱۹۷۲) پیشنهاد شد و بعدها توسط (Mayer and Stark ۱۹۸۱)، (Nandgaonkar ۱۹۸۱)، (Easa ۱۹۸۸) و (Jayawardane and Harris ۱۹۹۰) توسعه یافت. متغیرهای تصمیم، معیار کارایی تصمیم گیری و روابط بین متغیرهای تصمیم، نمایشگر سه مولفه اصلی هر مدل تصمیم گیری (از جمله مدل های برنامه ریزی خطی) می باشند. مسئله برنامه ریزی خطی عمومی را می توان بصورت ریاضی، به شکل زیر بیان نمود:

تابع $f = \sum_{i=1}^N a_i x_i$ را به ازای متغیرهای X_i و $i=1, \dots, N$ و تحت شرایط زیر کمینه گردد.

$g_j = \sum_{i=1}^N b_{ji} x_i \geq C_j$	$j=1, \dots, M_1$
$h_j = \sum_{i=1}^N b_{ji} x_i \leq C_j$	$j=M_1+1, \dots, M$
$x_i \geq 0$	$i=1, \dots, N$

در این مساله f بیانگر یک تابع خطی است که باید آن را به ازای متغیرهای x_i کمینه نمود و تابع f اغلب به نام تابع هدف یا تابع مزیت خوانده می شود. ضرایب a_i ثابت هایی معلومند. اگر حل مساله ای مستلزم بیشینه سازی تابع f باشد در این صورت به سادگی می توان آن را به مساله ای از نوع کمینه سازی تابع دیگری چون f_1 که برابر $(-f)$ است تبدیل کرد. اکنون این مدل را برای یک مساله عملیات خاکی مورد بررسی قرار می دهیم.

هدف روش های برنامه ریزی خطی موجود در سیستم های بهینه سازی عملیات خاکی معمولاً حداقل کردن هزینه و یا حداکثر کردن سود است، که در آن مدت زمان کل پروژه نیز دخیل می باشد. بهینه سازی عملیات خاکی در ساخت شاهراه ها، سدهای خاکی و دیگر پروژه های بزرگ، یک عامل مهم در تخمین دقیق عملیات و در نتیجه باعث پیروزی در مناقصه و در عین حال ماکزیم نمودن سود می باشد. انتخاب دقیق معادن قرضه و دپو، ماشین آلات و پخش صحیح مواد به وضوح در این فرایند لازم می باشد. به علاوه عواملی چون ضرایب تورم و انقباض خاک، امکان استفاده از معادن دپو و قرضه، درجات مختلف تراکم در لایه های مختلف، و وجود لایه های مختلف خاک در مناطق خاکبرداری نیز باید مد نظر قرار داده شود.

همانند تمامی مدل های خطی، این مدل نیز دارای متغیرهای تصمیم، تابع هدف و قیدهایی می باشد. متغیرهای تصمیم در این مدل احجام خاک جابجا شده بین دو قطعه i و j می باشند که به صورت X_{ij} بیان می گردند. (در این مساله فرض می شود که می خواهیم خاک را از مناطق خاکبرداری i برداشته و به مناطق خاکریزی j منتقل نمائیم. همچنین امکان استفاده از معادن دپو d و قرضه b نیز وجود دارد.)

تابع هدف در این مدل حداقل کردن هزینه کلی پروژه است که به صورت مجموعی از ضرب احجام جابجا شده بین مناطق خاکبرداری و خاکریزی در هزینه واحد این جابجایی ها می باشد. که این دو خود به ناوگانی که عمل انتقال را انجام می دهد، لایه های خاک موجود در مقاطع خاکریزی و خاکبرداری و میزان تحکیم خاک در مقاطع خاکریزی بستگی دارند.

قیدهایی نیز به این مدل اعمال می‌شوند یکی از این قیود محدود بودن حجم قابل برداشت خاک در مناطق خاکبرداری و قرضه، و همچنین محدود بودن حجم قابل ریختن خاک در مناطق خاکریزی و دپو می‌باشد. یکی دیگر از قیود مهم در این مدل، قید مربوط به مدت زمان انجام پروژه می‌باشد که خود به دو بخش تقسیم می‌شود. یکی اینکه مجموع مدت زمان کاربرد هر ناوگان در میان قطعات کاری مختلف از مدت زمان پروژه بیشتر نشود. (مدت زمان کار یک ناوگان بین دو قطعه برابر با حجم کار انجام شده در آن قسمت، بخش بر تولید ناوگان برای آن قسمت می‌باشد) بخش دوم قید زمان نیز به این صورت بیان می‌شود که در بین هر دو قطعه کاری مفروض، مجموع مدت زمان کار ناوگانهای مختلف بین آن دو قطعه از کل مدت پروژه بیشتر نگردد.

بدین ترتیب قید زمان به طور کامل ارضا گردیده و انتخاب ناوگان بهینه نیز توسط این قید و همچنین در نظر گرفتن تابع هدف مدل که هزینه کل پروژه را کمینه می‌کند صورت می‌گیرد. قیود دیگری نیز در این مدل وجود دارند که در مدل ریاضی ارائه شده به آنها پرداخته می‌شود.

اگر:

$$\begin{aligned} i &= \text{شماره قطعاتی که از آنها خاکبرداری می‌شود} & j &= \text{شماره قطعاتی که در آنها خاکریزی انجام می‌شود} \\ n &= \text{شماره ناوگانی که بین قطعات کار می‌کند} & b &= \text{شماره معادن قرضه موجود در عملیات} \\ d &= \text{شماره معادن دپو موجود در عملیات} & X &= \text{تصمیم} \end{aligned}$$

هزینه واحد حجم خاک جابجا شده بین قطعات = C

باشند خواهیم داشت:

تابع هدف: مینیمم کردن هزینه کلی عملیات:

$$\min Z = \sum_i \sum_j \sum_n C(i, j, n) \cdot x(i, j, n) + \sum_i \sum_d \sum_n C(i, d, n) \cdot x_{d(i, j, n)} + \sum_b \sum_j \sum_n C(b, j, n) \cdot x_{B(b, j, n)}$$

که در آن مقدار C برای جابجایی خاک بین هر کدام از قطعات و توسط هر ناوگانی به صورت مجزا بدست آمده (جزء اطلاعات مساله است) و عددی ثابت فرض می‌شود.

۱- قید ۱: محدودیت حجم لازم برای برداشت در مقاطع i:

اگر $Q_c(i)$ حجم خاکبرداری لازم در مقطع i باشد برای هر مقطع خاکبرداری i داریم:

$$\sum_j \sum_n x(i, j, n) + \sum_d \sum_n x_{D(i, j, n)} = Q_{c(i)}$$

۲- قید ۲: محدودیت حجم لازم برای ریختن در مقاطع j:

اگر $Q_F(j)$ حجم خاکریزی لازم در مقطع j و S^f ضریب تورم خاک باشد برای هر مقطع خاکریزی j داریم:

$$\sum_i \sum_n S^f \cdot x(i, j, n) + \sum_b \sum_n S^f \cdot x_{(b, j, n)} = Q_{F(j)}$$

۳- قید ۳: محدودیت حجم قابل برداشت در منابع قرضه b:

اگر $Q_B(b)$ حجم خاکبرداری ممکن در منبع قرضه b باشد داریم:

$$\sum_j \sum_n x_{(d, j, n)} \leq Q_{B(b)}$$

۴- قید ۴: محدودیت حجم قابل دپو کردن در منابع دپو d:

اگر $Q_{D(d)}$ حجم خاکبرداری ممکن در منبع دپو d باشد داریم:

$$\sum_i \sum_n S^f \cdot x_{D(i, d, n)} \leq Q_{D(d)}$$

- قید ۵: محدودیت زمان پروژه برای هر ناوگان:

اگر D زمان کل اجرای پروژه و P تولید هر ناوگان برای قطعات مختلف باشد، برای هر ناوگان n داریم:

$$\sum_i \sum_j \left[\frac{x_{(i,j,n)}}{P_{(i,j,n)}} \right] + \sum_b \sum_j \left[\frac{x_{B(b,j,n)}}{P_{B(b,j,n)}} \right] + \sum_i \sum_d \left[\frac{x_{(i,d,n)}}{P_{(i,d,n)}} \right] \leq D$$

- قید ۶: محدودیت زمان پروژه برای کار انجام شده بین هر دو قطعه مفروض:

برای جابجایی خاک بین هر دو قطعه مفروض i, j داریم:

$$\sum_n \left[\frac{x_{(i,j,n)}}{P_{(i,j,n)}} \right] \leq D$$

برای جابجایی خاک بین هر قطعه i و منبع دیو d داریم:

$$\sum_n \left[\frac{x_{(i,d,n)}}{P_{(i,d,n)}} \right] \leq D$$

برای جابجایی خاک بین هر منبع قرصه b و قطعه j داریم:

$$\sum_n \left[\frac{x_{(b,j,n)}}{P_{(b,j,n)}} \right] \leq D$$

با اعمال قیود بالا و با توجه به تابع هدف مدل که حداقل کردن هزینه می باشد و با حل مدل خطی توسط روشهای موجود می توان مقادیر متغیرهای تصمیم (که همان احجام جابجا شده خاک x ها) می باشند) بدست آورد. البته در اغلب مواقع به علت پیچیدگی زیاد محاسبات، نیاز به استفاده از برنامه های کامپیوتری وجود دارد و سپس با بدست آمدن ریز عملیات ها و زمان کل پروژه (D) زمان بندی دقیق عملیاتی های پروژه را نیز می توان تهیه نمود. در مدل بالا اشاره به نکات زیر ضروری است:

۱- در حل این مدل ساده سازی هایی صورت گرفته است. مثلاً امکان وجود لایه های مختلف خاک طبیعی و همچنین ریختن خاک و کوبیدن آن با درجات تراکم متفاوت، در نظر گرفته نشده است. برای حل دقیق تر مدل می توان پارامترهای لایه های مختلف خاک (s) و درجات مختلف تراکم (c) را نیز منظور نمود و در مدل ریاضی نیز وارد کرد که در نتیجه آن متغیرهای مدل به این پارامترها نیز وابسته می شوند. برای مثال خواهیم داشت: $(x(i,j,s,c,n))$

۲- در حل مدل بالا فرض شده است که هزینه واحد حجم خاک جابجا شده بین قطعات (C) ثابت می باشد. اما در واقع در بسیاری از پروژه ها این هزینه ثابت نبوده و حالت خطی دارد که به میزان حجم خاک جابجا شده وابسته است (برای مثال $C = \alpha + \beta x$) در چنین مواردی مدل از حالت خطی خارج شده و به یک مدل QP (Quadratic Programming) تبدیل می گردد.

۳- یکی از فرضهای مدل ارائه شده این است که در آن، منطقه عملیاتی به صورت خطی فرض شده، یعنی امکان جابجایی خاک تنها در یک بعد وجود دارد. در حالی که در واقع در پروژه های عملیات خاکی ما با یک سطح عملیاتی مواجه هستیم که در آن امکان جابجایی خاک در هر دو جهت x و y وجود دارد.

برای در نظر گرفتن این مورد می‌توان سطح پروژه را به شبکه‌هایی از مولفه‌های x و y تقسیم نمود بدین ترتیب سلول‌هایی ایجاد می‌شود که به شکل مربع می‌باشند در بهینه‌سازی اگر هر خاکبرداری و خاکریزی در هر سلول را انجام داده و سپس اطلاعات را وارد برنامه کنیم، از حالت بهینه خارج می‌شویم، مسیر حمل در خود سلول نیز ممکن است بهینه‌ترین حالت نباشد. لازم به ذکر است که هر چقدر سلولها بیشتر بوده و اندازه آنها کوچکتر باشد و همچنین فواصل استفاده شده دقیق‌تر باشند، جواب برنامه دقیق‌تر خواهد بود.

۳-۶-۲- استفاده از سیستم های خبره (expert system)

یکی دیگر از راه‌های انتخاب بهینه ماشین‌آلات با توجه به احجام پروژه در عملیات خاکی استفاده از مدل های سیستم های خبره می‌باشد. استفاده از این روش در سالهای اخیر رواج فراوانی یافته است. برخی از تلاشهای انجام شده در این رابطه به قرار زیر می‌باشند.

Touran (۱۹۹۰) برای انتخاب غلتک‌های مناسب از این سیستم استفاده نمود (۱۹۹۴) Hanna چنین سیستمی را برای انتخاب جرقه‌تیل برای کارهای فوق سنگین ابداع نمود. (۱۹۹۴) Amir khanian and Baker یک سیستم خبره ایجاد نمودند که با طرح سوالاتی از کاربر در مورد تعریف شرایط و مشخصات پروژه، نوع و تعداد ماشین‌آلات را پیشنهاد می‌دهد. (۱۹۹۶) Christian and Xie نیز چنین سیستمی را ایجاد نمودند که با توجه به نوع و مقدار مواد حفاری شده، ماشین‌آلات مناسب را پیشنهاد می‌دهد. (۲۰۰۰) Kuprenas and Henkhaus سیستمی را پیشنهاد نمودند که براساس مجموعه‌ای از شرایط، اسکریپر مناسب را پیشنهاد می‌کند.

روش کلی کار یک سیستم خبره به این صورت است که سیستم سوالاتی را در مورد نوع، شرایط و احجام عملیاتی مطرح نموده و با توجه به اطلاعاتی که از قبل به آن داده شده است، مناسب‌ترین ترکیب ماشین‌آلات را پیشنهاد می‌دهد. انتخاب صحیح ماشین‌آلات عملیات خاکی یکی از فاکتورهای مهم است، وقتی که می‌خواهیم نیازمندی‌های زمان‌بندی و بودجه‌ای پروژه به صورت مناسبی ارضا گردد. انتخاب ماشین‌آلات برای انجام دادن فعالیت‌های گوناگون عملیات خاکی توسط محاسبات دقیق، کاری کسل‌کننده و زمان‌بر می‌باشد. در حالیکه این انتخاب توسط اشخاصی با تجربه و خبره می‌تواند به بهترین نحو صورت گیرد.

کسب علم همواره یکی از مهمترین بخش‌های یک (expert system) می‌باشد. تمامی اطلاعات مربوط به سیستم درون فایل های صفحه گسترده (spread sheet) نظیر EXCEL طبقه‌بندی می‌گردند. بیشتر اطلاعات مورد نیاز این سیستم معمولاً از مصاحبه با مهندسين و مدیران با تجربه شرکت‌های معتبر پیمانکاری و همچنین استخراج مطالب Hand book سازندگان ماشین‌آلات، مقالات و مجلات علمی و کتابهای معتبر ماشین‌آلات بدست می‌آیند. در مورد روشهای کسب علم بیان شده در بالا می‌بایست به نکات زیر توجه نمود:

۱- مقادیر بدست آمده از Hand Book، همواره برای شرایط ایده‌آل بوده و بنابراین باید این مقادیر توسط مصاحبه با افراد متخصص اصلاح و یا تأیید شوند.

۲- مصاحبه‌ها معمولاً به تهیه یکسری سئوالات برای این که در سیستم مورد استفاده قرار گیرند، منجر می‌شوند. مشکلاتی نیز در این مصاحبه‌ها به وجود می‌آیند. آشنا نبودن افراد با سیستم و عملکرد آن، محرمانه بودن برخی اطلاعات، امکان تبعیض در مصاحبه‌ها و ارائه جوابهای متناقض از افراد مختلف از جمله بزرگترین این مشکلات می‌باشند.

در پایان تمامی ایده‌ها جمع‌آوری گردیده و به شکل تیپ جملات (IF then) تبدیل می‌گردد. برای طراحی یک سیستم خبره از برنامه‌های خاص آن (نظیر VP Expert) استفاده می‌گردد. دلایل عمده استفاده از چنین برنامه‌هایی، طراحی ساده و قابل فهم بودن برای افراد، قابل اجرا بودن بر روی کامپیوترهای شخصی و توانایی برای اصلاح و توسعه می‌باشد. اجزای سیستم شامل یک پایگاه اطلاعات اصلی و تعدادی مدول می‌باشند. پایگاه اصلی برای بدست آوردن اطلاعات در مورد شرایط پروژه و تعیین دامنه آن بوده و به جواب سئوالی که در مورد احجام پروژه مطرح می‌شود وابسته می‌باشد.

بسته به پاسخی که به سئوال فوق داده خواهد شد، سیستم به یکی از مدول‌ها که براساس حجم عملیات تعریف شده‌اند منتقل می‌شود. چنین اتصالی با توجه به قابلیت chain صورت می‌پذیرد. سوالاتی که معمولاً در قسمت اصلی برای کاربر مطرح می‌شود معمولاً شامل اطلاعاتی از قبیل موارد زیر می‌باشند:

- ۱- نوع خاک (شامل جنس و ضرایب تورم و انقباض)
- ۲- احجام پروژه
- ۳- طول مدت پروژه
- ۴- مهارت اپراتور
- ۵- میدان دید اپراتور
- ۶- راندمان کار
- ۷- شرایط جاده

در ادامه اطلاعاتی از قبیل تولید ماشین‌آلات به صورت تک و دیگر شرایط کار نیز به سیستم داده می‌شود و سیستم نیز در پایان عملیات نوع و تعداد ماشین‌های انتخاب شده را چاپ می‌کند.

۳-۷- ارتباط ما بین زمان اجرای پروژه و ظرفیت ماشین‌آلات:

پس از برنامه‌ریزی دقیق قسمتهای مختلف پروژه و زمانبندی فعالیت‌ها، می‌بایست منابع موجود در پروژه را نیز به گونه‌ای به فعالیت‌های مختلف پروژه تخصیص داد، تا امکان انجام آنها در مدت زمان برآورد شده و به صورتی کارآمد فراهم شود. منابع مورد نیاز فعالیت‌ها را می‌توان تحت پنج عنوان نیروی انسانی، ماشین‌آلات، مصالح، پول و زمان تقسیم‌بندی کرد. میزان مواد مورد نیاز هر فعالیت با توجه به طبیعت آن متفاوت است. مصالح را باید به گونه‌ای تخصیص داد که همه مصالح مورد نیاز هر یک از فعالیت‌های پروژه در زمان مناسب و به اندازه کافی، نه کمتر و نه بیشتر، در اختیار پروژه مورد نظر قرار داشته باشد. این امر مستلزم استفاده از سیستم‌های سفارش‌دهی و انبارداری مناسب و کنترل دائمی عملکرد آنهاست. به رغم اینکه پول نیز یکی از منابع اساسی مورد نیاز فعالیت‌هاست، ولی نمی‌توان آن را به معنای خاص کلمه تخصیص داد. در واقع پول چیزی را نمی‌سازد، ولی با آن می‌توان سایر منابع مورد نیاز فعالیت‌ها را خریداری کرد. بدین ترتیب پول امکان تخصیص سایر منابع همچون نیروی انسانی و ماشین‌آلات را کنترل می‌کند. از طرفی زمان نیز منبعی است که تخصیص آن بصورت غیر مستقیم و از طریق تخصیص منابعی همچون نیروی انسانی و ماشین‌آلات صورت می‌گیرد.

بدین ترتیب تنها دو منبع از منابع پنجگانه، یعنی نیروی انسانی و ماشین‌آلات را می‌توان بدون واسطه و بطور مستقیم به هریک از فعالیت‌ها تخصیص داد. بعبارت دیگر نیروی انسانی و ماشین‌آلات را در مسائل تخصیص می‌توان به منزله متغیرهای مستقل منظور

کرد. در حالی که پول، زمان و مصالح نمایشگر متغیرهای واسطه‌ای می‌باشند که مقدار آنها تعیین کننده میزان کارایی سیاست بکار گرفته شده برای تخصیص نیروی انسانی و ماشین‌آلات است. در حالت کلی تخصیص ماشین‌آلات و نیروی انسانی به فعالیت‌های مختلف پروژه باید به گونه‌ای باشد که همه اهداف مورد نظر را تأمین کند. به منزله مهمترین اهداف در زمینه تخصیص نیروی انسانی و ماشین‌آلات می‌توان از کمینه سازی زمان یا هزینه انجام پروژه، محدود کردن زمان یا هزینه انجام پروژه و ثابت نگه داشتن منابع نام برد. مراحل مختلف یک پروژه اجرایی مستلزم حل مسائل تخصیص منابع متفاوتی است.

هدف از حل مسأله تخصیص منابع تعریف شده در ابتدای یک پروژه اجرایی با زمان تداوم طولانی معمولاً حداقل کردن هزینه اجرایی پروژه است، که در آن زمان تداوم پروژه به منزله یکی از قیود مسأله منظور شده است. (همانند آنچه در بخش قبل مورد بررسی قرار گرفت) در حالی که در این بخش مسأله تخصیص مورد استفاده در انتهای پروژه یا در طول مدت اجرای آن، به دلیل تأخیرهای ایجاد شده در مراحل قبلی، با هدف کم کردن زمان اجرای پروژه و در عین حال ایجاد کمترین هزینه ممکن، تعریف و حل می‌شود.

بحثی که در بالا بیان شد در مورد تمامی پروژه‌های ساخت از جمله پروژه‌های عملیات خاکی صادق می‌باشد. در عملیات‌های خاکی ماشین‌آلات بدون تردید مهمترین منابع موجود می‌باشند و می‌بایست با دقت مورد ارزیابی قرار گیرند. برای انجام یک پروژه عملیات خاکی با احجام عملیاتی مشخص، تغییر در تعداد و ظرفیت ماشین‌آلات، هم روی هزینه (به سبب تغییر در تعداد موارد هزینه ساز) و هم روی زمان (به سبب تغییر در میزان تولید) اثر می‌گذارد.

گاهی اوقات محدودیت در تعداد ماشین‌آلات وجود دارد و یا به دلایلی نیاز است تا هزینه‌های پروژه کمتر گردد. در چنین مواردی با کم شدن تولید ناوگان‌های ماشین‌آلات مدت زمان فعالیت‌های پروژه افزایش خواهد یافت که ممکن است به افزایش زمان کل پروژه نیز بیانجامد که گاهی اوقات منجر به افزایش میزان هزینه‌های پروژه و یا امکان جریمه شدن پیمانکار می‌گردد.

عکس این موضوع نیز صادق می‌باشد. در عمل موارد بسیاری وجود دارد که کوتاه کردن مدت پروژه را ضروری می‌سازد. برای مثال ممکن است روند ساخت به گونه‌ای باشد که با روند فعلی، امکان به اتمام رساندن پروژه در تاریخ مقرر فراهم نگردد و در نتیجه پیمانکار برای اجتناب از جریمه تأخیر، مدت را کاهش دهد. همچنین در بعضی موارد، پیمانکار برای اجتناب از هوای نامساعد در فصل سرما یا برای آزاد کردن ماشین‌آلات و نیروی انسانی، اقدام به کاهش مدت پروژه نماید که این کاهش مدت پروژه مطمئناً همراه با افزایش هزینه‌ها به سبب افزایش تعداد و ظرفیت ماشین‌آلات خواهد بود. بنابراین مدت و هزینه هر عملیات در پروژه‌های عملیات خاکی همانند دیگر پروژه‌های ساخت تا اندازه‌ای قابل تبدیل با یکدیگر می‌باشند که به نام موازنه هزینه و زمان شناخته می‌شود. (time-cost trade off)

پس هدف از این بخش طراحی ناوگان‌های بهینه برای عملیات مختلف می‌باشد تا بتوان به اهداف پروژه که همان داشتن کمترین هزینه و زمان برای آن پروژه است، دست یافت. معلومات و مجهولات مسأله را برای روشن شدن مسأله مرور می‌کنیم: معلومات مسأله شامل احجام مشخص برای عملیات‌های پروژه و برنامه‌ریزی دقیق اجرای عملیات‌هاست. در حالی که ترکیب ناوگان‌های انجام‌دهنده این عملیات‌ها و زمان و هزینه عملیات‌ها، متناظر با ناوگان انتخاب شده، به عنوان مجهول در نظر گرفته می‌شوند.

در ارتباط با انتخاب ناوگان‌های مختلف ماشین‌آلات و تأثیر آنها روی زمان و هزینه پروژه‌های عملیات خاکی مطالعات بسیاری صورت گرفته که در اینجا به دو مورد از پرکاربردترین این روش‌ها اشاره می‌گردد.

۳-۷-۱ - طراحی گروه کار و تحلیل آن از طریق شاخص هزینه (Cost Index):

طراحی گروه کار (از جمله ناوگان ماشین آلات) اثر مهمی در تخمین دقیق مدت و هزینه پروژه دارد. هر چند معمولاً طراحی گروه کار بر اساس تجربه انجام می‌شود، اما امکان طراحی به صورت مستدل نیز وجود دارد. این طراحی معمولاً طی مراحل طی شرح زیر انجام می‌گردد:

(۱) انتخاب یک گروه آزمایشی

(۲) تعیین نرخ تولید گروه (N)

(۳) محاسبه مدت فعالیت $(T = \frac{\text{حجم}}{N})$

(۴) محاسبه هزینه فعالیت (C)

(۵) بررسی نتایج (که معمولاً با مقایسه هزینه واحد حجم عملیات صورت می‌گیرد).

ترکیب گروه کار تابع عوامل متعددی است. به صورت ایده‌آل، سازماندهی یک گروه به نحوی انجام می‌شود که بازده فعالیت به حداکثر برسد و به عبارت دیگر بیشینه سازی انجام گیرد. در قسمت‌های قبل چنین بحثی برای بهینه‌سازی واحدهای حمل (نظیر کامیون) وابسته به ماشین بارکن (نظیر لودر)، در یک سیستم بارگیری و حمل در عملیات خاکی، مطرح شده بود. اما با ارائه روش سیستماتیک بحث شده در این قسمت و پیگیری گام‌های ذکر شده، می‌توان این بحث را برای دیگر ماشین آلات بارگیری و حمل خاک نظیر اسکرپرها و غیره نیز به کار برد.

در زیر گام‌هایی نظیر آنچه در بالا ذکر شده به طور مثال برای یک گروه اسکرپر بیان شده و به توالی برای اسکرپرها انجام می‌گردد تا در پایان بهینه‌ترین ترکیب برای آنها بدست آید:

گام ۱: تعیین مقاومت کل: مسیر به قطعه قطعه‌هایی تقسیم می‌شود که هر قطعه دارای شیب خاصی است و مقاومت کل آن قطعه از مجموع مقاومت شیب و مقاومت غلتشی به دست می‌آید.

گام ۲: محاسبه زمان سفر:

$$\text{زمان سفر} = \frac{\text{حجم قطعه}}{\text{سرعت حرکت}}$$

که سرعت حرکت در این رابطه با توجه به مقاومت کل محاسبه شده در مرحله قبل و چارت‌های عملکرد ماشین محاسبه می‌شود.

گام ۳: محاسبه زمان کل سیکل کاری (Ts): با جمع‌کردن زمان‌های لازم برای یک سیکل به دست می‌آید. نظیر زمان بارگیری،

زمان سفر، زمان مانور و زمان تخلیه.

گام ۴: محاسبه زمان سیکل تراکتور کمکی (Tp):

$$T_p = 1.4 L_t + 0.25 \text{ min}$$

که در آن L_t زمان بارگیری اسکرپر می‌باشد.

$$N = T_s / T_p$$

گام ۵: محاسبه تعداد بهینه اسکرپرها:

$$\text{تعداد سیکل در هر ساعت} * (\text{مقدار بار}) * N = \text{نرخ تولید}$$

گام ۶: تعیین نرخ تولید

که در آن مقدار بار برابر است با:

وزن واحد خاک) * (ضریب تورم) * (درصد پر شدن) * (حجم اسکریپر) = مقدار بار BCM

گام ۷: تعیین زمان عملیات :

$$\text{زمان عملیات} = \frac{\text{حجم کل حفاری شده}}{\text{نرخ تولید}}$$

گام ۸: تعیین هزینه کل: (هزینه واحد زمان منابع) * (زمان عملیات) = هزینه کل

گام ۹: تعیین هزینه واحد عملیات:

$$\text{هزینه واحد عملیات} = \frac{\text{هزینه کل}}{\text{حجم کل حفاری شده}}$$

تنها تفاوت این مثال با روند کلی طراحی گروه کار این است که چون در اینجا بحث تراکتور کمکی نیز وجود داشت، بجای انتخاب آزمایشی گروه کار، حدود بهینه تعداد اسکریپر وابسته به تراکتور کمکی در ابتدا تعیین گردید و سپس گروه کار طراحی شد. با استفاده از این روش علاوه بر اینکه مقایسه تمامی ماشین‌آلات موجود امکان می‌یابد، می‌توان هزینه‌های اضافی را که ممکن است برای یک پروژه خاص لازم باشند را نیز لحاظ نمود. بدلیل اینکه تعیین اقتصادی‌ترین ترکیب ماشین‌آلات از لحاظ اندازه، مدل و تعداد با استفاده از این روش در بسیاری مواقع کاری خسته‌کننده است و محاسبات زیادی را می‌طلبد، می‌توان با به کار گیری استفاده از یک فایل صفحه گسترده نظیر اکسل و طبقه‌بندی در کامپیوتر، چنین محاسباتی را تسهیل نموده و از حل دستی آنها خودداری نمود.

اگر فرض شود که مدت فعالیت به هر دلیلی محدود گردد در اینصورت مراحل طراحی گروه به شرح زیر تغییر می‌کند:

- ۱) مدت بحرانی T داده شود.
- ۲) نرخ تولید مورد نیاز Nr محاسبه گردد.
- ۳) Nr افزایش یابد و یا عوامل تقلیل‌دهنده نرخ تولید تعدیل گردد.
- ۴) گروه اصلاح شود تا Nr مورد نیاز تأمین گردد.

۳-۷-۲- استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری :

شبیه‌سازی (Simulation) یکی دیگر از روش‌هایی است که برای مدل کردن هر نوع عملیاتی از جمله عملیات خاکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تاکنون تلاش‌های بسیاری در رابطه با شبیه‌سازی عملیات‌های خاکی صورت گرفته است: (Azadivar ۱۹۹۹), (AbouRizk and Hajjar ۱۹۹۸), (Marzouk and Moselhi ۲۰۰۰), (Carson and Maria ۱۹۹۷)

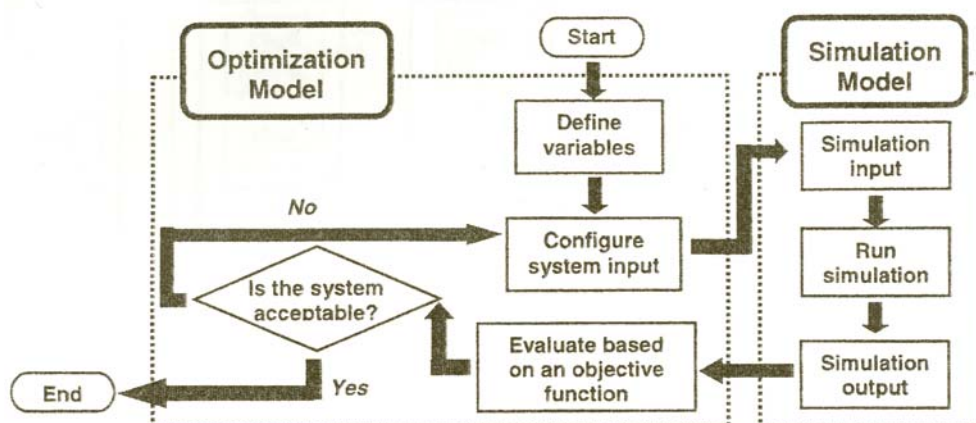
در نتیجه این تلاش‌ها، زبانهای شبیه‌سازی بسیاری مخصوص عملیات خاکی ایجاد شده‌اند:

CYCLONE-INSIGHT-UMCYCLONE-DISCO-CIPROS-STROBOSCOPE-HSM-SIMPSONY-SIMEARTH

علیرغم اینکه شبیه‌سازی ابزاری مفید برای مدل کردن عملیات‌های ساخت می‌باشد، کاربرد آن در این زمینه هنوز محدود است که این امر به دلیل سختی در یادگیری و استعمال زبانهای شبیه‌سازی می‌باشد. در یک سیستم شبیه‌سازی کامپیوتری، اجزا مدل همراه با مشخصات خود به طور جداگانه به سیستم معرفی می‌گردند و در مکان مورد نظر قرار گرفته و نقشی مربوط به خود را

می پذیرند. مهمترین مزیت شبیه سازی این است که اندرکنش اجزای سیستم در آن به خوبی نمایان شده و در ضمن شرایط نامعین پروژه را نیز می توان با استفاده از توابع چگالی احتمالاتی محاسبه نمود (در یک عملیات خاکی، شرایط نامعین پروژه شامل: خرابی ماشین آلات، شرایط جوی نامناسب، شرایط غیر منتظره در محل سایت، زمانهای سفر ماشین های حمل و موارد دیگر می باشد). معمولاً در شبیه سازی پروسه عملیات های خاکی از شبیه سازی رویداد گسسته (discrete event simulation) استفاده می گردد. این نوع شبیه سازی معمولاً زمانی استفاده می شود که حالت سیستم در نقاط گسسته و قابل اندازه گیری زمانی تغییر کند. در یک سیستم عملیات خاکی وقتی این اتفاق می افتد که به طور مثال کامیونها به صف برسند و یا بعد از بارگیری، روانه گردند. همچنین از شبیه سازی شیء گرا (object oriented) و شبیه سازی سه فازی (three phase simulation) نیز بسیار استفاده می گردد.

بنابراین با استفاده از شبیه سازی می توان حالت سیستم را در هر لحظه مورد بررسی قرار داد و نیز اثر تغییرات در عملکرد را مشاهده نمود. البته باید توجه داشت که شبیه سازی به تنهایی امکان انتخاب ناوگان بهینه را دارا نمی باشد. بلکه نتایج استفاده از هر ناوگان دلخواه را روی سیستم نمایان می سازد. بنابراین برای بهینه سازی سیستم، می بایست به همراه شبیه سازی از یک مدل بهینه سازی (نظیر الگوریتم ژنتیک) استفاده نمود تا در تعامل با آن بتواند نقش بهینه سازی را نیز ایفا نماید.



شکل ۳-۲۰- اندرکنش شبیه سازی و بهینه سازی

۳-۸- انتخاب صحیح دستگاه‌ها، ظرفیت و تعداد

با توجه به مطالب ذکر شده در بند های گذشته کتاب راجع به ماشین آلات همکار و ارتباط مابین ظرفیت و تولید آنها، انتخاب ترکیبی صحیح از ماشین آلات که منجر به ایجاد بهترین ناوگان ممکن از لحاظ میزان تولید، زمان عملیات و هزینه واحد تولید می‌گردد، می‌تواند صرفه اقتصادی زیادی را برای پروژه به دنبال داشته باشد. در این بخش با توجه به روشهای ذکر شده در بند های ۳-۷ و ۳-۸ به بررسی نحوه ترکیب بهینه ماشین آلات، با ذکر مثال واقعی می‌پردازیم.

در این مثال به بهینه سازی اقتصادی نحوه خاکبرداری و خاکریزی بر اساس بهینه سازی ناوگان ماشین آلات عملیات خاکی جاده دسترسی یک سد خاکی پرداخته شده است. جاده دسترسی آن به طول تقریبی ۱۱ کیلومتر و از نوع درجه ۱ است.

(نشریه شماره ۱۶۱ سازمان مدیریت و برنامه ریزی: راه درجه ۱ راهی است با دو خط عبور و سواره روی روسازی شده به عرض ۶/۵ متر و شانه در هر طرف به عرض ۱ متر)

روند عملیات به صورت زیر می‌باشد:

قطعه بندی پروفیل راه: این مسیر ۱۱ کیلومتری به ۱۱ قطعه مساوی، هر یک به طول ۱ کیلومتر تقسیم شده است.

۱- تعیین معادن قرضه و دیو و فاصله آنها از مسیر اصلی: با مطالعات انجام شده، محل قرضه و دیو قابل استفاده مشخص گردیده و فواصل آنها با استفاده از نقشه های موجود طراحی مسیر، به صورت کوتاه ترین فاصله از مسیر اصلی با خط مستقیم محاسبه شده است.

در این مثال از هزینه اولیه مورد نیاز برای استفاده از معادن قرضه و دیو (هزینه setup) صرف نظر گردیده، ولی در حالت کلی می‌توان این هزینه را مد نظر قرار داد. تعیین احجام این معادن با استفاده از روش های طرح شده در بند ۳-۷ انجام می‌پذیرد. نتایج مطالعات انجام شده در جدول شماره ۳-۱۱ ارائه گردیده است.

جدول شماره ۳-۱۱- حجم معادن قرضه و دیو

فاصله	واقع در کیلو متر	حجم (m ^۳)	معادن انتخاب شده
۰	۳	۲۰۰۰۰۰	دیو ۱ (D ^۱)
۵۰۰	۸	۱۰۰۰۰۰	دیو ۲ (D ^۲)
۱۰۰	۱۱	نا محدود	دیو ۳ (D ^۳)

همانگونه که مشاهده می‌شود در این پروژه نیاز به استفاده از معادن قرضه نبوده است.

فرض: نحوه حرکت ماشین آلات از معادن قرضه و دیو به جاده اصلی به صورت مستقیم صورت گرفته و بقیه حرکت آن روی خط پروژه انجام می‌پذیرد. لازم به ذکر است که در زمان اجرای کلیه قطعات راه، جاده دسترسی فراهم است.

۲- محاسبه حجم خاکبرداری و خاکریزی برای هر قطعه مسیر:

با توجه به جداول موجود طراحی برای محاسبه حجم خاک در ایستگاه های مختلف راه و تجمیع مقادیر هر قطعه این میزان حجم عملیات برای هر قطعه تعیین گردیده که بعنوان مثال دو نمونه از محاسبات این احجام در جدولی در پیوست شماره ۱ آورده شده است. با استفاده از مقادیر این جدول میزان خاکبرداری و خاکریزی برای هر قطعه از مسیر ۱۱ کیلو متری محاسبه و خلاصه آن در جدول ۳-۱۲ ارائه گردیده است.

جدول ۳-۱۲- مقادیر خاکبرداری و خاکریزی و محدودیت های حجم دیو و قرضه (m^۳)

شماره قطعه	خاکبرداری	خاکریزی
۱	۸۴۶۴۹,۷	۱۳۰۳۳
۲	۴۷۰۴۶,۲	۱۵۳۰۰,۵
۳	۲۴۶۳۰,۶	۵۲۴۹,۷
۴	۲۵۳۰۲,۹	۲۶۶۱۶,۵
۵	۳۹۰۵۴,۲	۱۰۸۳۶,۱
۶	۱۳۰۰۶	۹۸۴۴,۵
۷	۱۳۰۴۸,۷	۸۰۳۱
۸	۶۱۵۸۰,۲	۴۵۶۰,۳
۹	۵۱۲۷۹,۱	۱۰۸۸۲,۲
۱۰	۶۰۲۴۲,۷	۷۱۹۲,۸
۱۱	۷۳۸۲۱	۱۱۹۵۹
D ^۱	۰	۲۰۰۰۰۰
D ^۲	۰	۱۰۰۰۰۰
D ^۳	۰	نا محدود

۳- ماشین آلات در دسترس: در این پروژه فرض بر این بوده که نوع ماشین آلات مورد استفاده از قبل با توجه به دارایی های پیمانکار مشخص بوده است. این ماشین ها به همراه مشخصات فنی لازم و هزینه های مربوط در جدول ۳-۱۳ ارائه گردیده. (فرض می شود ماشین آلات برای اجرای پروژه اجاره شده اند).

جدول ۳-۱۳- مشخصات ماشین آلات				
نشانه	اسب بخار	مشخصات	مدل	هزینه ساعتی (ساعت/تومان)
B ^۱	۵۰۰ hp	ظرفیت تیغه برابر ۹/۴ (M ^۳)	D ^{۱۰۵} A _۲ (HEPCO)	۳۰۰۰۰
B ^۲	۱۸۵ hp	ظرفیت تیغه برابر ۳/۷ (M ^۳)	D ^{۱۶} R(CAT)	۱۵۰۰۰
L ^۱	۲۳۰ hp	ظرفیت تیغه برابر ۲/۵ (M ^۳)	L ^{۹۰} (HEPCO)	۱۳۰۰۰
L ^۲	۶۰۰ hp	ظرفیت تیغه برابر ۷/۳ (M ^۳)	L ^{۹۹۰} (HEPCO)	۳۲۰۰۰
T ^۱	۲۸۰ hp	ظرفیت انباشته ۱۳/۶ (M ^۳)	Articulated Truck ^{۷۲۰} (cat)	۱۴۰۰۰

۴- انجام مطالعات محلی به منظور دستیابی به مشخصات پروژه:

با توجه به مطالعات محلی انجام شده نتایج زیر حاصل شده است:

۵-۱- راندمان در کارگاه برای ماشین آلات ۵۰/۶۰ فرض شده است.

۵-۲- نوع خاک زمین معمولی با ضریب تورم ۱/۲۵ می باشد.

۵-۳- میزان مهارت لودر با ضریب ۹/۱. یعنی راننده با مهارت متوسط اعمال می شود.

۵-۴- فاصله حمل بولدوزر ۹۰ متر می باشد.

۵-۵- فاصله حمل لودر ۷۵ متر می باشد.

۶-۵- تعیین مقاومت غلثشی: فرض می شود جاده دسترسی خاک متراکم با نگهداری خوب است که مقاومت غلثشی

معادل 30 kg/ton می باشد.

۷-۵- شیب مسیر های دپو و قرضه تا مسیر اصلی صفر در نظر گرفته شده است.

۸-۵- مقادیر شیب هر قطعه: این مقادیر با میانگین گیری از شیب قسمت های مختلف خط پروژه در هر قطعه با در نظر

گرفتن طول آن قسمت به دست آمده است:

قطعه ۱-۰	$i = 4,96\%$	قطعه ۷-۶	$i = 1,48\%$
قطعه ۲-۱	$i = 1,25\%$	قطعه ۸-۷	$i = -0,59\%$
قطعه ۳-۲	$i = 0,338\%$	قطعه ۹-۸	$i = -0,53\%$
قطعه ۴-۳	$i = -1,39\%$	قطعه ۱۰-۹	$i = 0,4\%$
قطعه ۵-۴	$i = 1,08\%$	قطعه ۱۱-۱۰	$i = -2,76\%$
قطعه ۶-۵	$i = -1,32\%$		

۵- تعیین ناوگان بهینه، تولید و هزینه معادل:

روند محاسبه ناوگان بهینه، میزان تولید و هزینه معادل آنها در بخش های قبل آورده شده است. در این مثال این محاسبات برای

ماشین آلات در دسترس انجام شده است که نتایج آنها در جدول شماره ۳-۱۴ آمده است. (لازم به ذکر است که محاسبات کامل در

پیوست ۱ آورده شده است. در این محاسبات اثر شیب و میزان فاصله حمل برای شیب های ۰-۷٪ و فواصل ۰-۶ کیلومتر در نظر

گرفته شده است.)

جدول شماره ۳-۱۴- ناوگان های در نظر گرفته شده

ترکیبات ناوگان ماشین آلات					
نشانه ناوگان	هزینه معادل	تولید معادل m^3/hr	ترکیب ناوگان	فاصله مناسب	شیب
۱	۹۵۰۰۰	۲۲۹/۵۳	B۱L۲ ۲T۱	۰_۱	۰٪
	۱۰۹۰۰۰	۲۱۵	B۱L۲ ۳T۱	۱_۲	
	۱۰۹۰۰۰	۱۷۵	B۱L۲ ۳T۱	۲_۳	
	۱۲۳۰۰۰	۱۸۳	B۱L۲ ۴T۱	۳_۴	
	۱۳۷۰۰۰	۱۸۸/۲۵	B۱L۲ ۵T۱	۴_۵	
	۱۵۱۰۰۰	۱۸۵/۷۵	B۱L۲ ۶T۱	۵_۶	
۸	۹۵۰۰۰	۲۰۸/۹	B۱L۲ ۲T۱	۰_۱	۳ / ۰ %
	۱۰۹۰۰۰	۱۸۵/۵	B۱L۲ ۳T۱	۱_۲	
	۱۲۳۰۰۰	۱۷۶	B۱L۲ ۴T۱	۲_۳	
	۱۳۷۰۰۰	۱۷۳/۵	B۱L۲ ۵T۱	۳_۴	
	۱۶۵۰۰۰	۱۸۵/۵	B۱L۲ ۶T۱	۴_۵	
	۱۷۹۰۰۰	۱۸۶/۵	B۱L۲ ۷T۱	۵_۶	
۱۳	۹۵۰۰۰	۱۹۳/۴۴	B۱L۲ ۲T۱	۰_۱	۷٪
	۱۲۳۰۰۰	۱۸۹/۲۵	B۱L۲ ۴T۱	۱_۲	
	۱۵۱۰۰۰	۱۹۱/۷۵	B۱L۲ ۶T۱	۲_۳	

	۳_۴	B\LY ٧T\	۱۷۷/۲۵	۱۶۵۰۰۰	۱۶
	۴_۵	B\LY ٩T\	۱۸۱/۷۵	۱۹۳۰۰۰	۱۷
	۵_۶	B\LY ١٠T\	۱۶۹/۵	۲۰۷۰۰۰	۱۸
۳/۵ %	۰_۱	B\LY ٢T\	۲۳۰	۹۵۰۰۰	۱۹
	۱_۲	B\LY ٣T\	۲۱۲	۱۰۹۰۰۰	۲۰
	۲_۳	B\LY ٣T\	۱۸۱/۵	۱۰۹۰۰۰	۲۱
	۳_۴	B\LY ٤T\	۱۸۳	۱۲۳۰۰۰	۲۲
	۴_۵	B\LY ٥T\	۱۸۸/۲۵	۱۳۷۰۰۰	۲۳
	۵_۶	B\LY ٦T\	۱۹۱/۷۵	۱۵۱۰۰۰	۲۴
	۷%	۰_۱	B\LY ٢T\	۲۲۰	۹۵۰۰۰
۱_۲		B\LY ٣T\	۱۹۵/۷۵	۱۰۹۰۰۰	۲۶
۲_۳		B\LY ٤T\	۱۸۹/۲۵	۱۲۳۰۰۰	۲۷
۳_۴		B\LY ٥T\	۱۸۸/۲۵	۱۳۷۰۰۰	۲۸
۴_۵		B\LY ٦T\	۱۸۵/۷۵	۱۵۱۰۰۰	۲۹
۵_۶		B\LY ٧T\	۱۸۵/۵	۱۶۵۰۰۰	۳۰
۰%	۰_۱	B\LY ١T\	۹۹/۱۷	۴۲۰۰۰	۳۱
	۱_۲	B\LY ١T\	۷۰/۶۲۵	۴۲۰۰۰	۳۲
	۲_۳	B\LY ٢T\	۹۰/۹۹	۵۶۰۰۰	۳۳
	۳_۴	B\LY ٢T\	۷۹/۴۹	۵۶۰۰۰	۳۴
	۴_۵	B\LY ٣T\	۹۲/۷۵	۷۰۰۰۰	۳۵
	۵_۶	B\LY ٣T\	۸۱/۲۵	۷۰۰۰۰	۳۶
۳/۵ %	۰_۱	B\LY ١T\	۸۷/۵۷	۴۲۰۰۰	۳۷
	۱_۲	B\LY ٢T\	۹۵/۲۳	۵۶۰۰۰	۳۸
	۲_۳	B\LY ٢T\	۷۶/۵۶	۵۶۰۰۰	۳۹
	۳_۴	B\LY ٣T\	۸۷/۲۵	۷۰۰۰۰	۴۰
	۴_۵	B\LY ٣T\	۷۳/۸۷۵	۷۰۰۰۰	۴۱
	۵_۶	B\LY ٤T\	۸۴/۱۲۵	۸۴۰۰۰	۴۲
۷%	۰_۱	B\LY ١T\	۸۰/۳۶	۴۲۰۰۰	۴۳
	۱_۲	B\LY ٢T\	۸۲/۰.۶	۵۶۰۰۰	۴۴
	۲_۳	B\LY ٣T\	۸۵/۱۲۵	۷۰۰۰۰	۴۵
	۳_۴	B\LY ٣T\	۷۰/۵	۷۰۰۰۰	۴۶
	۴_۵	B\LY ٤T\	۷۵/۲۵	۸۴۰۰۰	۴۷
	۵_۶	B\LY ٥T\	۷۷/۷۵	۹۸۰۰۰	۴۸
۳/۵ %	۰_۱	B\LY ١T\	۹۹/۶۹	۴۲۰۰۰	۴۹
	۱_۲	B\LY ٢T\	۱۰۵/۹۳	۵۶۰۰۰	۵۰
	۲_۳	B\LY ٢T\	۹۳/۶۳	۵۶۰۰۰	۵۱
	۳_۴	B\LY ٢T\	۷۹/۵	۵۶۰۰۰	۵۲
	۴_۵	B\LY ٣T\	۹۳/۷۵	۷۰۰۰۰	۵۳
	۵_۶	B\LY ٣T\	۷۰/۵	۷۰۰۰۰	۵۴
۷%	۰_۱	B\LY ١T\	۹۳/۷۵	۴۲۰۰۰	۵۵
	۱_۲	B\LY ٢T\	۹۹/۳۹	۵۶۰۰۰	۵۶
	۲_۳	B\LY ٢T\	۸۲/۸۳	۵۶۰۰۰	۵۷
	۳_۴	B\LY ٣T\	۹۳/۷۵	۷۰۰۰۰	۵۸
	۴_۵	B\LY ٣T\	۸۲/۶۲۵	۷۰۰۰۰	۵۹
	۵_۶	B\LY ٣T\	۷۳/۸۷۵	۷۰۰۰۰	۶۰

۶- در این قسمت ناوگان های مناسب برای اجرای عملیات بین قطعات مختلف بر اساس فاصله بین قطعات و شیب میانگین مسیر بین قطعات انتخاب گردیده و نتایج در جدول ۳-۱۵ آمده است.

جدول ۳-۱۵- ناوگان های تخصیص یافته											
خاکبرداری	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
خاکریزی											
۱	۱۳	۲۰	۲۱	۴	۵	۶					
	۴۳	۵۰	۵۱	۳۴	۳۵	۳۶					
۲	۸	۱	۲	۳	۴	۵	۶				
	۳۸	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶				
۳	۹	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶			
	۳۹	۳۲	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶			
۴	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶		
	۳۴	۳۳	۳۲	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶		
۵	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	
	۳۵	۳۴	۳۳	۳۲	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	
۶	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶
	۳۶	۳۵	۳۴	۳۳	۳۲	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶
۷		۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵
		۳۶	۳۵	۳۴	۳۳	۳۲	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵
۸			۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴
			۳۶	۳۵	۳۴	۳۳	۳۲	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴
۹				۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳
				۳۶	۳۵	۳۴	۳۳	۳۲	۳۱	۳۲	۳۳
۱۰					۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲
					۳۶	۳۵	۳۴	۳۳	۳۲	۳۱	۳۲
۱۱						۶	۵	۴	۳	۲	۱
						۳۶	۳۵	۳۴	۳۳	۳۲	۳۱
D۱	۹	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶			
	۳۹	۳۲	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶			
D۲			۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴
			۳۶	۳۵	۳۴	۳۳	۳۲	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴
D۳						۶	۵	۴	۳	۲	۷
						۳۶	۳۵	۳۴	۳۳	۳۲	۳۷

۷- برنامه ریزی انجام عملیات :

در این بخش چگونگی برنامه ریزی اجرای پروژه با توجه به احجام عملیاتی و همچنین ناوگان های اختصاص یافته در قسمت قبل بیان می گردد. این کار با حل مساله بهینه سازی عملیات با تابع هدف حداقل کردن هزینه کلی عملیات با توجه به زمان اجرای کار صورت می پذیرد. روش کامل حل این مساله در بند ۳-۶ و در بخش استفاده از مدل برنامه ریزی خطی، بیان شده است.

$$\text{Min}Z = \sum_i \sum_j \sum_{n \in Ni,j} C_{(i,j,n)} \cdot X_{(i,j,n)} + \sum_i \sum_k \sum_{n \in Ni,k} C_{D(i,k,n)} \cdot X_{D(i,k,n)}$$

$$\sum_j \sum_{n \in Ni,j} X_{(i,j,n)} + \sum_k \sum_{n \in Ni,k} X_{(i,k,n)} = Q_{c(i)}$$

$$\sum_i \sum_{n \in Ni,j} X_{(i,j,n)} = Q_F(j)$$

$$\sum_i \sum_{n \in Ni,k} X_{D(i,k,n)} \leq Q_D(k)$$

$$\sum_i \sum_j \left[\frac{X_{(i,j,n)}}{P_{(i,j,n)}} \right] + \sum_p \sum_j \left[\frac{X_{D(i,k,n)}}{P_D(i,k,n)} \right] \leq D$$

$$\sum_{n \in Ni,j} \left[\frac{X_{(i,j,n)}}{P_{(i,j,n)}} \right] \leq D$$

$$\sum_{n \in Ni,j} \left[\frac{X_{D(i,k,n)}}{P_{D(i,k,n)}} \right] \leq D$$

$$X_{(i,j,n)} \geq 0$$

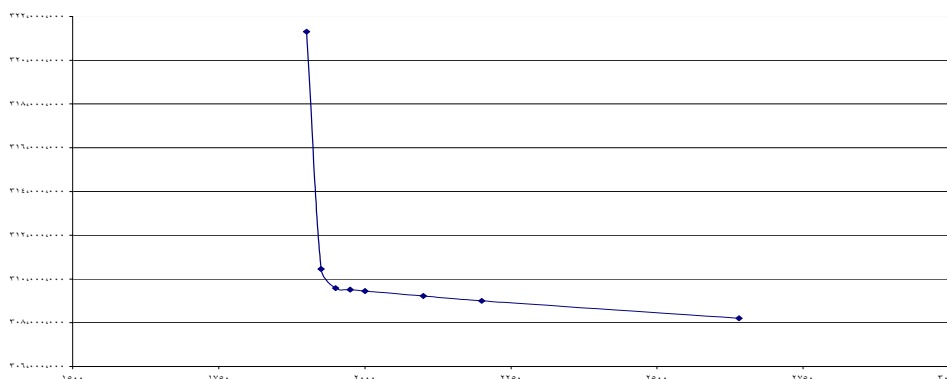
$$X_{D(i,k,n)} \geq 0$$

برای حل این مدل از برنامه بهینه سازی LINGO استفاده شده است. زمان بهینه‌ای که در آن کمترین هزینه را داریم ۲۶۴۰/۷۲۹ ساعت می‌باشد که هزینه معادل آن ۳۰۸۲۰۷۸۰۰ تومان است. با اجرای برنامه با زمان‌های متفاوت نتایج زیر حاصل گشته که در جدول ۳-۱۶ و شکل ۳-۲۱ آمده است.

جدول شماره ۳-۱۶ - نتایج هزینه و زمان معادل

T (hr)	Cost (tomans)
۱۹۰۰	۳۲۱،۳۰۱،۶۰۰
۱۹۲۵	۳۱۰،۴۵۵،۹۰۰
۱۹۵۰	۳۰۹،۵۸۷،۳۰۰
۱۹۷۵	۳۰۹،۵۱۹،۸۰۰
۲۰۰۰	۳۰۹،۴۵۲،۳۰۰
۲۱۰۰	۳۰۹،۲۲۶،۵۰۰
۲۲۰۰	۳۰۹،۰۰۵،۷۰۰
۲۶۴۰،۷۲۹	۳۰۸،۲۰۷،۸۰۰

در این پروژه تنها هزینه ماشین آلات مد نظر قرار گرفته است و از دیگر هزینه‌های عملیاتی نظیر هزینه‌های مستقیم نیروی انسانی و تدارکات و غیره و همچنین هزینه‌های غیر مستقیم صرف نظر شده است.



شکل ۳-۲۱- نتایج هزینه و زمان معادل

با توجه به نتایج قبل و جواب های به دست آمده از برنامه Lingo، برنامه ریزی دقیق عملیات به صورت زیر می باشد:

جدول شماره ۳-۱۷- برنامه ریزی عملیات

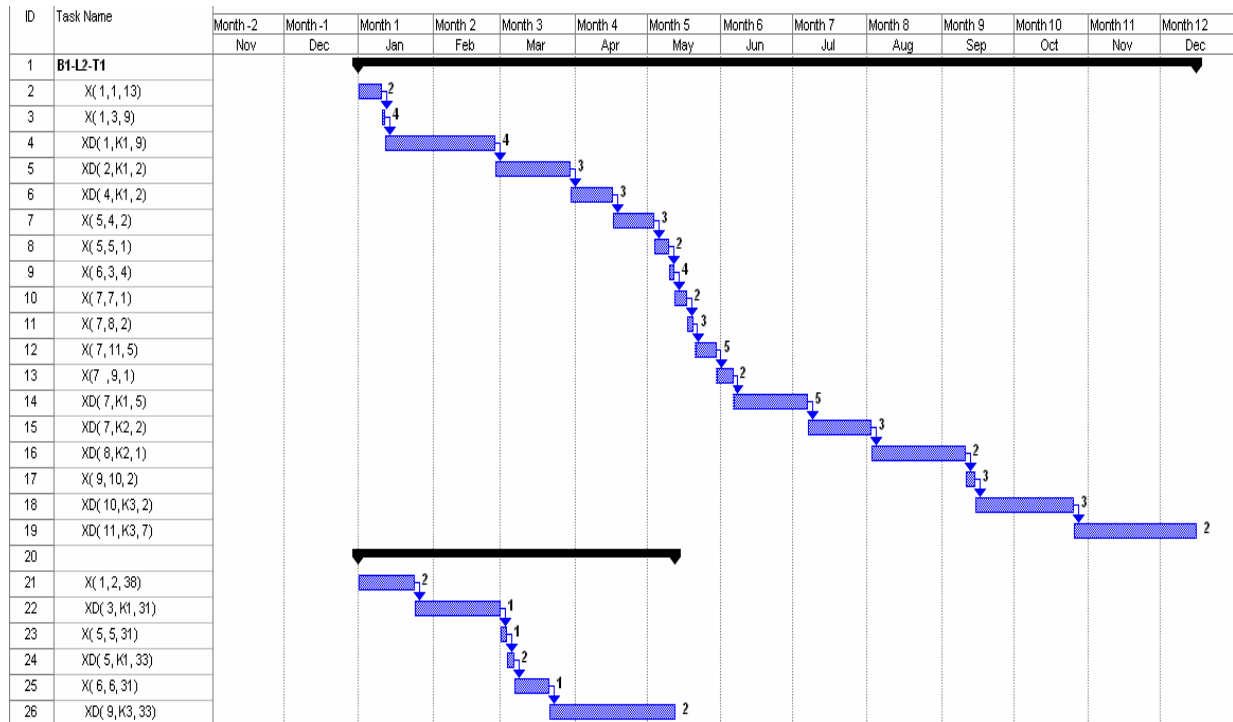
ریز عملیات	حجم عملیات (m ^۳)	تولید (m ^۳ /hr)	زمان (hr)	زمان (day)	زمان (day)
X(۱, ۱, ۱۳)	۱۳۰۳۳,۴	۱۹۳,۴۴	۶۷,۳۷۶۹۶۴۴	۸,۴۲۲۱۲۰۵۵۴	۸,۵
X(۱, ۳, ۹)	۲۰۸۸,۲	۱۷۶	۱۱,۸۶۴۷۷۲۷	۱,۴۸۳۰۹۶۵۹۱	۱,۵
XD(۱, K۱, ۹)	۵۴۲۲۷,۶	۱۷۶	۳۰۸,۱۱۱۳۶۴	۳۸,۵۱۳۹۲۰۴۵	۳۸,۵
XD(۲, K۱, ۲)	۴۷۰۴۶,۲	۲۱۵	۲۱۸,۸۱۹۵۳۵	۲۷,۳۵۲۴۴۱۸۶	۲۷,۵
XD(۴, K۱, ۲)	۲۵۲۰۲,۹	۲۱۵	۱۱۷,۲۲۲۷۹۱	۱۴,۶۵۲۸۴۸۸۴	۱۴,۵
X(۵, ۴, ۲)	۲۶۶۱۶,۵	۲۱۵	۱۲۳,۷۹۷۶۷۴	۱۵,۴۷۴۷۰۹۳	۱۵,۵
X(۵, ۵, ۱)	۸۹۸۸,۸۷۱	۲۲۹,۵۳	۳۹,۱۶۲۰۷۴۷	۴,۸۹۵۲۵۹۳۳۴	۵
X(۶, ۳, ۴)	۳۱۶۱,۵	۱۸۳	۱۷,۲۷۵۹۵۶۳	۲,۱۵۹۴۹۴۵۳۶	۲
X(۷, ۷, ۱)	۸۰۳۱	۲۲۹,۵۳	۳۴,۹۸۸۸۹۰۳	۴,۳۷۳۶۱۱۲۹۳	۴,۵
X(۷, ۸, ۲)	۴۵۶۰,۳	۲۱۵	۲۱,۲۱۰۶۹۷۷	۲,۶۵۱۳۳۷۲۰۹	۲,۵
X(۷, ۹, ۱)	۱۰۸۸۶,۲	۲۲۹,۵۳	۴۷,۴۲۸۲۲۲۹	۵,۹۲۸۵۲۷۸۶۱	۶
X(۷, ۱۱, ۵)	۱۱۹۵۹	۱۸۸,۲۵	۶۳,۵۲۷۲۲۴۴	۷,۹۴۰۹۰۳۰۵۴	۸
XD(۷, K۱, ۵)	۴۰۵۱۰,۶	۱۸۸,۲۵	۲۱۵,۱۹۵۷۵	۲۶,۸۹۹۴۶۸۷۹	۲۷
XD(۷, K۲, ۲)	۳۸۴۱۹,۸	۲۱۵	۱۷۸,۶۹۶۷۴۴	۲۲,۳۳۷۰۹۳۰۲	۲۲,۵
XD(۸, K۲, ۱)	۶۱۵۸۰,۲	۲۲۹,۵۳	۲۶۸,۲۸۸۲۴۱	۳۳,۵۳۶۰۳۰۱۵	۳۳,۵
X(۹, ۱۰, ۲)	۷۱۹۲,۸	۲۱۵	۳۳,۴۵۴۸۸۳۷	۴,۱۸۱۸۶۰۴۶۵	۴
XD(۱۰, K۳, ۲)	۶۰۲۴۲,۷	۲۱۵	۲۸۰,۱۹۸۶۰۵	۳۵,۰۲۴۸۲۵۵۸	۳۵
XD(۱۱, K۳, ۷)	۷۳۸۲۱	۲۰۸,۹	۳۵۳,۳۷۹۶۰۷	۴۴,۱۷۲۴۵۰۹۳	۴۴
X(۱, ۲, ۳۸)	۱۵۳۰۰,۵	۹۵,۲۳	۱۶۰,۶۶۸۹۰۷	۲۰,۰۸۳۶۱۲۳۶	۲۰
XD(۳, K۱, ۳۱)	۲۴۶۳۰,۶	۹۹,۱۷	۲۴۸,۳۶۷۴۵	۳۱,۰۴۵۹۳۱۲۳	۳۱
X(۵, ۵, ۳۱)	۱۸۴۷,۲۲۹	۹۹,۱۷	۱۸,۶۲۶۸۹۳۲	۲,۳۲۸۳۶۱۶۵۲	۲,۵
XD(۵, K۱, ۳۳)	۱۶۰۱,۶	۹۰,۹۹	۱۷,۶۰۱۹۳۴۳	۲,۲۰۰۲۴۱۷۸۵	۲
X(۶, ۶, ۳۱)	۹۸۴۴,۵	۹۹,۱۷	۹۹,۲۶۸۹۳۲۱	۱۲,۴۰۸۶۱۶۵۲	۱۲,۵
XD(۹, K۳, ۳۳)	۳۳۲۰۰,۱	۹۰,۹۹	۳۶۴,۸۷۶۳۶	۴۵,۶۰۹۵۴۵	۴۵,۵

در جدول بالا $X(i,j,n)$ به معنی حجم خاک جابجا شده از قطعه i به قطعه j توسط ناوگان n می باشد.

با توجه به اطلاعات به دست آمده از جدول بالا، نمودار زمان بندی پروژه به دست آمده که در شکل شماره ۳-۲۲ نشان داده شده

است. کمینه شدن هزینه نهایی مستلزم آن است که ناوگان شماره $(B^2-L^1-T^1)$ بعد از اتمام فعالیت خود آزاد گشته و اجاره

آن به پروژه تحمیل نشود.



شکل ۳-۲۲- نمودار زمان بندی

پیوست ۱

پروژه X								
Csdp for Windows Results								
(Cut : Cut Area , Fill : Fill Area)								
Name	Distance	Cut ,A	Fill,A	Partial	Cut ,V	Fill,V	Cut ,T	Fill,T
P۱	۰+ ۰,۰۰	۶,۴۱	۰					
				۹,۴	۳۰,۱	۰	۳۰,۱	۰
Zero	۰+ ۹,۴۰	۰	۰					
				۱۰,۶	۰	۳۸,۳	۳۰,۱	۳۸,۳
P۲	۰+ ۲۰,۰۰	۰	۷,۲۳					
				۲۰	۰	۲۹۶,۳	۳۰,۱	۳۳۴,۶
P۳	۰+ ۴۰,۰۰	۰	۲۲,۴					
				۲۰	۰	۶۲۶,۲	۳۰,۱	۹۶۰,۸
P۴	۰+ ۶۰,۰۰	۰	۴۰,۲۲					
				۲۰	۰	۱۱۳۵,۹	۳۰,۱	۲۰۹۶,۷
P۵	۰+ ۸۰,۰۰	۰	۷۳,۳۷					
				۲۰	۰	۱۷۳۹,۴	۳۰,۱	۳۸۳۶,۱
P۶	۰+۱۰۰,۰۰	۰	۱۰۰,۵۷					
				۲۰	۰	۱۷۶۲,۲	۳۰,۱	۵۵۹۸,۳
P۷	۰+۱۲۰,۰۰	۰	۷۵,۶۵					
				۱۹,۹۹	۰	۱۲۱۷,۶	۳۰,۱	۶۸۱۵,۹
Zero	۰+۱۳۹,۹۹	۰	۴۶,۱۷					
				۰,۰۱	۰	۰,۵	۳۰,۱	۶۸۱۶,۴
P۸	۰+۱۴۰,۰۰	۰,۰۱	۴۶,۱۶					
				۲۰	۱۰,۶,۶	۷۴۷,۱	۱۳۶,۷	۷۵۶۳,۵
P۹	۰+۱۶۰,۰۰	۱۰,۶۵	۲۸,۵۵					
				۶,۸۳	۱۳۷	۹۷,۵	۲۷۳,۷	۷۶۶۱
Zero	۰+۱۶۶,۸۳	۲۹,۴۶	۰					
				۱۳,۱۷	۶۲۶,۸	۰	۹۰۰,۵	۷۶۶۱
P۱۰	۰+۱۸۰,۰۰	۶۵,۷۲	۰					
				۶	۵۳۶,۵	۰	۱۴۳۷	۷۶۶۱
P۱۱	۰+۱۸۶,۰۰	۱۱۳,۱۱	۰					

پیوست ۲

محاسبات بولدوزر:

$$Q = \frac{60 * C * E}{T * f}$$

$$B_1 \Rightarrow D^1 55A \Rightarrow 9.4 m^3$$

$$B_2 \Rightarrow D^6 R \Rightarrow 3.7 m^3$$

$$B_1 : Q = \frac{60 * 9.4 * \frac{50}{60}}{1.25 * T}$$

دنده	جلو (km/hr)	عقب (km/hr)
۱	۳/۷	۴/۵
۲	۶/۸	۸/۲
۳	۱۱/۸	۱۳/۷

با توجه به فاصله حمل ۹۰ متر برای بولدوزر و اینکه بولدوزر در زمان حرکت به جلو با دنده ۲ و در حرکت به عقب با دنده ۳ حرکت می‌کند، زمان یک سیکل کاری برابر است با:

$$T_{\text{متغیر}} = \frac{\text{مسافت}}{\text{سرعت برگشت}} + \frac{\text{مسافت}}{\text{سرعت رفت}}$$

$$T_{\text{متغیر}} = \frac{90}{113.3} + \frac{90}{228.24} = 1.2 \text{ دقیقه}$$

$$T_{\text{ثابت}} = 0.3 \text{ دقیقه}$$

$$T_{\text{کل}} = 1.2 + 0.3 = 1.5 \text{ دقیقه}$$

در این نوع بولدوزر با توجه به نبود جداول مورد نیاز برای تعیین زمان صرف شده و همچنین یافتن میزان تولید ناچار به استفاده از فرمول تقریبی زیر می‌باشیم. در این فرمول سرعت در حرکت ثابت فرض شده.

$$T_{\text{متغیر}} = \frac{\text{مسافت}}{\text{سرعت برگشت}} + \frac{\text{مسافت}}{\text{سرعت رفت}}$$

$$T_{\text{total}} = T_{\text{متغیر}} + T_{\text{ثابت}}$$

$$Q_{B_1} = \frac{60 * 9.4 * \frac{50}{60}}{1.5 * 1.25} = 250.66 m^3/hr$$

$$B_1 = 250 m^3/hr$$

$$B_2 = D^6 R(CAT)C = 3.7 m^3$$

ضرایب اصلاحی * تولید بدست آمده از نمودار = تولید واقعی

$$Q = 210 \frac{m^3}{hr} * 0.8 * 0.75 = 126 \frac{m^3}{hr}$$

$$B_v = 126 \frac{m^3}{hr}$$

محاسبات لودر :

$$L_2 = L_{90} \cdot C = 7/3 m^3$$

$$T = 0/35 + 0/3 = 0/65 \text{ متغیر}$$

$$T = 0/5 \Rightarrow T = 1/15 \text{ ثابت}$$

$$Q = \frac{60 * 7.3 * 50 / 60}{1.15 * 1.25} = 253.9 \frac{m^3}{hr}$$

$$L_2 = 254 \frac{m^3}{hr}$$

$$L_1 = L_{90} \text{ هیپکو}$$

$$C = 2/5 m^3$$

$$Q = \frac{60 * C * E * h}{T * f}$$

$$T = T \text{ ثابت} + T \text{ رفت و برگشت}$$

با استفاده از کاتالوگ شرکت هیپکو

$$T = T \text{ ثابت} + \text{زمان تهیه} + \text{زمان بالارفتن باکت} + \text{زمان بارگیری} = 5/4 + 2/1 + 2/5 + 5 = 15S$$

$$= 0/25 \text{ min}$$

برای محاسبه رفت و برگشت با استفاده از جدول روبرو داریم :

با فرض اینکه لودر در زمان رفت با دنده ۳ و در برگشت که جامش پر است با دنده ۲ حرکت کند با استفاده از فرمول زیر داریم.

$$T = \frac{75}{426.5} + \frac{75}{211.5} = 0.55 \text{ min}$$

سرعت Km/hr	دنده
۶/۸	۱
۱۲/۷	۲
۲۵/۶	۳
۳۷/۱	۴

$L_1 = 1$ $T = T \text{ ثابت} + T \text{ متغیر} = 0/8 \text{ min}$ $Q = \frac{60 * 2.5 * 50 / 60 * 1}{0.8 * 1.25} = 125 \frac{m^3}{hr}$	$L_1 = L_{90} = 125 m^3$
---	--------------------------

محاسبه تعداد کامیون با در نظر گرفتن فاصله

فرض می شود خاک روی کامیون با شیب ۱: ۲ می ایستد و از ظرفیت انباشته کامیون استفاده خواهد شد.

لودر و بولدوزر	کامیون	ظرفیت لودر و بولدوزر m^3/hr	حجم کامیون m^3
B_1L_2	T_1	۲۵۰	۱۳,۶
B_2L_1	T_1	۱۲۵	۱۳,۶

 $B_1L_2T_1$

محاسبات برای گروه اول :

شیب = ۰٪

مقاومت غلتشی = ۳٪

مقاومت کل = ۳٪

$$ظرفیت کامیون $m^3 = ۱۳/۶$$$

تن $۴۴/۴ =$ وزن کامیون پر (cat) ۷۲۵ Articulated Truck

تن $۲۲ =$ وزن کامیون خالی (cat) ۷۲۵ Articulated Truck

در این قسمت تنها محاسبات برای گروه اول و فاصله ۵-۶ کیلومتر ذکر می گردد.

فاصله ۵-۶ km ← ۵/۵ Distance

با استفاده از نمودار برای سرعت رفت و برگشت داریم:

$$\text{ساعت} = ۰,۱۵ = \frac{۰,۵}{۳۷} \rightarrow \text{زمان} = \frac{۰,۵}{۳۷} \rightarrow \text{سرعت} = ۳۷ \text{ km/hr} \rightarrow \text{برای رفت}$$

$$\text{ساعت} = ۰,۱۲ = \frac{۰,۵}{۳۷} \rightarrow \text{زمان} = \frac{۰,۵}{۳۷} \rightarrow \text{سرعت} = ۴۷ \text{ km/hr} \rightarrow \text{برای برگشت}$$

همانگونه که می دانیم زمان تخلیه و بارگیری در مقابل زمان رفت و برگشت قابل ملاحظه نمی باشد و از آنها در زمان سفر صرف نظر می شود.

$$\text{ساعت} = ۰,۲۷ = ۰,۱۵ + ۰,۱۲ = \text{زمان سفر}$$

= تولید سیستم Pt تولید حفار*	$n=۰ \rightarrow Pt=۰/۱۷۸, \text{cost}=۱۰۲۰۰۰ \text{ تومان/hr} \quad \text{cost}/m^3=۶۲۹/۶$ $Q=۱۶۲$
	$n=۶ \rightarrow Pt=۰/۷۴۳, \text{cost}=۱۱۶۰۰۰ \text{ تومان/hr} \quad \text{cost}/m^3=۶۲۴ \quad \text{OK}$ $Q=۱۸۵/۷۵$

$$r = \frac{۱۳,۶}{\frac{۶۰}{۵۰} \times ۲۵۰ \times ۰,۲۷} = ۰,۱۷$$

$$n = ۵/۹۵$$

$$\text{Distance} = ۵-۶ \text{ km} \Rightarrow B_1L_2T_1$$

منابع و مراجع

۱. مجموعه راهنمای تجزیه قیمت های واحد برای ماشین آلات و ابزارهای ساختمانی و راهسازی، پدید آورنده مصطفی یزدانشناس، دفتر فنی سازمان برنامه و بودجه، نشریه شماره یک، چاپ دوم آذرماه ۱۳۶۲
۲. ماشین های ساختمانی و روش های اجرایی، ترجمه دکتر حمید بهبهانی و دکتر علی منصور خاکی، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران
۳. مدیریت ماشین های راهسازی، ترجمه دکتر علی توران
۴. شیوه بهره برداری از ماشین های راهسازی، پدید آورنده آصف خلدانی، مهندسان مشاور سانو
۵. ساخت سازه های مهندسی، ترجمه اردشیر اطمیابی، دانشگاه صنعتی شریف
۶. جزوات کلاسی درس مدیریت ماشین آلات، دکتر پرویز قدوسی، دانشگاه علم و صنعت ایران
۷. حجم عملیات خاکی محاسبه برنامه ریزی، پدید آورنده حسن رحیمی
۸. Construction, Planning, Equipments and Methods, R. L. Peurifoy, ۱۹۸۵
۹. Moving The Earth, The WorkBook of Excavation, Fourth Edition, Herbert L. Nicholes, David A. Day, ۲۰۰۱
۱۰. Heavy construction, Second Edition, Jagman singh, ۱۹۹۸
۱۱. Cater Pillar Performance HandBook (Edition ۳۲/۲۰۰۱)
۱۲. AGC Equipment Cost Estimate, AGC, ۱۹۹۰
۱۳. Further development of integer programing in earthwork optimization, Jayawardane and Harris, ASCE, Journal of construction engineering and management, Vol ۱۱۶, No ۱, March, ۱۹۹۰
۱۴. Earthwork allocations with linear unit costs, Said M .Easa, ASCE, Journal of construction engineering and management, Vol ۱۱۴, No ۴, December, ۱۹۸۸
۱۵. Determination of haul distance and direction in mass excavation, Son; Mattila and Myers, ASCE, Journal of construction engineering and management, Vol ۱۳۱, No ۳, March, ۲۰۰۵
۱۶. Expert system for equipment selectin for earth-moving operation, Amirkhanian and baker, ASCE, Journal of construction engineering and management, Vol ۱۱۸, No ۲, June, ۱۹۹۲
۱۷. Determination of most economical scrapers fleet, Eldin and Mayfield, ASCE, Journal of construction engineering and management, Vol ۱۳۱, No ۱۰, October, ۲۰۰۵
۱۸. Optimizing haul unit size and number based on loading facility characteristics, Gransberg, ASCE, Journal of construction engineering and management, Vol ۱۲۲, No ۳, September, ۱۹۹۶

۱۹. Object-oriented simulation model for earthmoving operations, Marzouk and Moselhi, ASCE, Journal of construction engineering and management, Vol ۱۲۹, No ۲, April, ۲۰۰۳

۲۰. Multiobjective optimization of earthmoving operations, Marzouk and Moselhi, ASCE, Journal of construction engineering and management, Vol ۱۳۰, No ۱, February, ۲۰۰۴

خواننده گرامی

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر چهارصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی <http://tec.mporg.ir> قابل دستیابی می‌باشد.

دفتر نظام فنی اجرایی

Islamic Republic of Iran
Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision

Construction Machinery- Operation Management

No. ۴۴۹

Office of Deputy for Strategic Supervision
Bureau of Technical Execution System

<http://tec.mporg.ir>

این نشریه

با عنوان مدیریت بهره برداری ماشین آلات
عمرانی و با هدف انتخاب ماشین آلات
ساختمانی از منظر اقتصادی و فنی تهیه
گردیده است.