

فصل دوم

بارگیری و حمل در معادن سطحی

لودر^۱

همانطور که از نام آن مشخص است، ماشینی است که برای بارگیری مواد استفاده می‌شود (معمولاً بارگیری کامیون). البته از لودر در معادن کوچک تا متوسط ممکن است بعنوان ماشین اصلی بارگیری استفاده شود، ولی در معادن بزرگ معمولاً این ماشین از کارایی کافی برخوردار نیست و در این معادن معمولاً شاول ماشین اصلی بارگیری است مگر آنکه شرایط خاصی ایجاب کند که از لودر برای این منظور استفاده شود.

شرایط استفاده:

شرایط استفاده از این ماشین برای دو کاربرد ذکر شده در بالا به این شرح می‌باشد:

الف) به عنوان ماشین بارگیری:

- بارگیری از جبهه کارهای سست و کم ارتفاع
- تخلیه در ارتفاع کم
- حمل در فاصله کم. معمولاً از لودر برای جابجایی خاک در فواصل بیش از ۲۰۰ متر استفاده نمی‌شود
- استخراج انتخابی و کار در دیواره‌های غیر یکنواخت

ب) به عنوان ماشین تدارکاتی:

- احداث جاده، خاکریز (دپو) و امثال آن
- حمل تجهیزات
- ماشین کمکی بارگیری مخصوصاً در جبهه کارهای غیر یکنواخت
- تسطیح اطراف شاول

انواع لودر:

لودرها را به دو نوع چرخ لاستیکی^۲ و چرخ زنجیری^۳ تقسیم می‌کنند.

خصوصیات ویژه لودر چرخ لاستیکی در مقایسه با لودر چرخ زنجیری به شرح زیر می‌باشد:

- سرعت حرکت بیشتر به علت استفاده از چرخ لاستیکی
- قدرت مانور خوب به علت استفاده از چرخ لاستیکی و شکل کمر شکن ماشین
- حمل تا مسافت بیشتر. از لودرهای چرخ لاستیکی ممکن است برای حمل مواد تا فاصله حداکثر ۲۰۰ متر استفاده شود. در حالی که توصیه می‌شود تا از لودرهای چرخ زنجیری برای فاصله‌های بیشتر از ۸۰ متر استفاده نشود
- ظرفیت جام بیشتر. لودرهای معدنی معمولی حجم جامی تا حدود ۱۵ متر مکعب دارند و بزرگترین لودرهای چرخ لاستیکی با جام ۴۱/۶ متر مکعب برای سنگ‌های معمولی و ۷۱ متر مکعب برای بارگیری زغالسنگ عرضه می‌شوند^۴. بزرگترین لودرهای چرخ زنجیری حداکثر ۴ متر مکعب ظرفیت جام دارند.
- ارتفاع بارگیری و تخلیه بیشتر

^۱ loader, front-end loader.

^۲ wheel loader, rubber-tired.

^۳ crawler, track-type loader.

^۴ L-2350 LeTourneau and CAT 994.

- همچنین خصوصیات ویژه لودر چرخ زنجیری در مقایسه با لودر چرخ لاستیکی به شرح زیر می‌باشد:
- امکان فشار بیشتر به جبهه کار^۱ به علت وجود اصطکاک بیشتر بین زنجیر و زمین
 - امکان استفاده در شیب‌های سربالایی زیادتر
 - فشار کمتر به سطح زمین به علت زیادتر بودن سطح تماس با زمین. البته لازم به ذکر است که معمولاً یک لودر چرخ زنجیری از لودر چرخ لاستیکی هم ظرفیت خود وزن بیشتر دارد
 - استفاده در بارگیری سنگهای سخت و ساییده. البته برای حفاظت از لاستیک لودرهای چرخ لاستیکی از زنجیرهای محافظ^۲ ویژه‌ای استفاده می‌شود که در شکل بعد نشان داده شده است

سیکل کاری و زمان یک سیکل کاری لودر

برای محاسبه راندمان عملیات (و نیز زمان مفید کاری) و همچنین برای محاسبه سیکل کار سه روش کلی وجود دارد. این روشها عبارتند از مقایسه، محاسبه و اندازه‌گیری.

در روش محاسبه، با استفاده از روابط ریاضی پارامتر مورد نظر را محاسبه می‌کنیم. در روش مقایسه از اطلاعات پروژه مشابه برای تخمین پارامتر مورد نظر استفاده می‌کنیم. روش اندازه‌گیری در مواقعی قابل استفاده است که پروژه فعال بوده و می‌توانیم پارامتر مورد نظر را بطور مستقیم اندازه‌گیری کنیم. همچنین جدول زیر رابطه بین شرایط مختلف کار و مدیریت را با راندمان ماشین نشان می‌دهد.

جدول ۱- محاسبه راندمان ماشین با توجه به شرایط کار و شرایط مدیریت.

شرایط مدیریت (MF)				شرایط کار (WF)
عالی	خوب	متوسط	ضعیف	
۰/۶۳	۰/۶۱	۰/۵۷	۰/۵۲	ضعیف
۰/۷۲	۰/۶۹	۰/۶۵	۰/۶۰	متوسط
۰/۷۸	۰/۷۵	۰/۷۱	۰/۶۵	خوب
۰/۸۴	۰/۸۱	۰/۷۶	۰/۷۰	عالی

در زیر روش محاسبه سیکل کار لودر شرح داده می‌شود:

لودر پس از استخراج از دیواره با دنده عقب از دیواره فاصله گرفته و سپس با دنده جلو به طرف کامیون حرکت می‌کند. در این زمان در حالی که جام لودر در بالای کامیون قرار گرفته است اقدام به تخلیه جام نموده سپس مسیر رفت را بطور معکوس طی می‌کند.

به این ترتیب ابتدا سیکل کار لودر به چهار بخش تقسیم می‌شود و مدت زمان هر بخش محاسبه و پس از جمع کردن آنها، سیکل کار کلی محاسبه می‌شود.

این چهار بخش عبارتند از:

- پر کردن جام (LT)
- حرکت به طرف محل تخلیه
- تخلیه (DT)
- برگشت به طرف محل بارگیری

¹ high break out force.

² snow/protection chain

از آنجا که بخش‌های اول و سوم به مسافت بین نقاط بارگیری و تخلیه وابسته نیست به آن دو عامل‌های ثابت^۱ سیکل کار گوییم و بخش‌های دوم و چهارم که به مسافت وابسته اند عامل‌های متغیر^۲ سیکل کار نامیده می‌شوند. برای محاسبه سیکل کار از روابط زیر استفاده می‌کنیم:

$$Ct = FT + VT \quad (1)$$

$$FT = LT + DT \quad (2)$$

$$VT = \frac{L}{V_f} + \frac{L}{V_e} \quad (3)$$

که در آنها:

Ct : سیکل کار لودر بر حسب ثانیه،

FT : مدت زمان عامل‌های ثابت بر حسب ثانیه،

VT : مدت زمان عامل‌های متغیر بر حسب ثانیه،

LT : مدت زمان پر شدن جام بر حسب ثانیه،

DT : مدت زمان تخلیه جام بر حسب ثانیه،

L : مسافت بین محل بارگیری و تخلیه بر حسب متر.

V_f : سرعت متوسط حرکت لودر با جام بارگیری شده^۳ بر حسب متر بر ثانیه و

V_e : سرعت متوسط حرکت لودر با جام خالی^۴ بر حسب متر بر ثانیه است.

البته گاهی بجای محاسبه، سیکل کار لودر با روش اندازه‌گیری مستقیم (لودر در حال کار در معدن) و یا مقایسه‌ای (احتساب زمان یک سیکل کاری از لودر در حال کار در پروژه مشابه) تعیین می‌شود.

یک نمونه از زمان سیکل کار لودر در جدول‌های بعد آمده است.

جدول ۲- مدت زمان متوسط انجام فعالیت‌های ثابت در یک پروژه

فعالیت	زمان بر حسب ثانیه
پر کردن جام	۱۵
تخلیه	۱۰
جمع	۲۵

جدول ۳- سرعت متوسط حرکت لودر در یک پروژه

حالت	سرعت حرکت بر حسب متر بر ثانیه
جام بارگیری شده	۳/۵
جام خالی	۵/۵

^۱fixed time.

^۲variable time.

^۳full load velocity.

^۴empty bucket velocity.

محاسبه توان عملیاتی:

طبق تعریف توان عملیاتی لودر مقدار خاکی است که ماشین در یک ساعت بارگیری می‌کند. توان عملیاتی ممکن است بصورت جرمی، وزنی و یا حجمی بیان شود. اگر توان عملیاتی بصورت حجمی بیان شود آنگاه لازم است تا تفاوت بین توان عملیاتی حجمی خاک درجا و جابجا شده رعایت شود. به منظور محاسبه توان عملیاتی حجمی از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$Q_L = \frac{3600 \times Ra}{Ct} \times Bc \times FF \quad (4)$$

که در آن:

Q_L توان عملیاتی حجمی لودر بر حسب متر مکعب بر ساعت خاک جابجا شده که بصورت m^3/h (L) و یا m^3/h (Loose) نمایش داده می‌شود.

Ra : راندمان عملیات. (حاصل ضرب راندمان عملیات در عدد ۶۰ را زمان مفید کاری^۱ ماشین می‌نامند که بر حسب دقیقه بر ساعت می‌باشد و با He نشان می‌دهند).

Ct : زمان یک سیکل کار ماشین بر حسب ثانیه،

Bc : ظرفیت جام^۲ لودر بر حسب متر مکعب،

FF : ضریب پر شوندگی جام لودر،

توان عملیاتی حجمی لودر بر حسب متر مکعب بر ساعت خاک درجا بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$V_B = V_L \times LF$$

$$Q_B = Q_L \times LF$$

$$Q = Q_B$$

$$Q = \frac{3600 \times Ra}{Ct} \times Bc \times FF \times LF$$

$$Q = \frac{3600 \times Ra}{Ct} \times Bc \times \frac{FF}{SF}$$

$$Q = \frac{3600 \times Ra}{Ct} \times Bc \times BF$$

که در آن:

LF : ضریب بار،

SF : ضریب تورم،

BF : ضریب جام،

توان عملیاتی حجمی لودر بر حسب متر مکعب بر ساعت خاک درجا بصورت m^3/h (B) و یا m^3/h (Bank) نمایش داده می‌شود.

توان عملیاتی جرمی لودر از روابط زیر محاسبه می‌شود (تمامی این فرمول‌ها یکی می‌باشند و فقط محل پارامترها تغییر کرده است):

$$P = Q_L \times D_L = Q \times D_B$$

$$P = \frac{3600 \times Ra}{Ct} \times Bc \cdot FF \times (D_L) \quad (5)$$

^۱Effective working time.

^۲Bucket capacity (dipper capacity).

$$P = \frac{3600 \times Ra}{Ct} \times Bc \cdot FF \times (LF \cdot D_B)$$

$$P = \frac{3600 \times Ra}{Ct} \times Bc \cdot FF \times \left(\frac{D_B}{SF} \right)$$

$$P = \frac{3600 \times Ra}{Ct} \times Bc \cdot \frac{FF}{SF} \cdot D_B$$

$$P = \frac{3600 \times Ra}{Ct} \times Bc \cdot BF \cdot D_B$$

که در آن:

P : توان عملیاتی جرمی بر حسب تن بر ساعت،

D_B : جرم حجمی خاک درجا بر حسب تن بر متر مکعب و

D_L : جرم حجمی خاک جابجا شده بر حسب تن بر متر مکعب است.

مثال:

توان عملیاتی لودر در شرایط زیر را بر حسب متر مکعب بر ساعت درجا، متر مکعب بر ساعت جابجا شده و تن بر ساعت حساب کنید: راندمان لودر ۴۰ درصد، زمان سیکل کار ۱ دقیقه، ظرفیت اسمی جام ۳ متر مکعب، ضریب تورم مواد ۱/۲، راندمان جام (ضریب پرشوندگی جام) ۸۰ درصد و جرم حجمی مواد در حالت درجا ۳ تن بر متر مکعب.

حل:

$$Ct = 1 \text{ min} = 60 \text{ Sec}$$

$$Q_L = \frac{3600 \times Ra}{Ct} \times Bc \times FF = \frac{3600 \times 0.4}{60} \times 3 \times 0.8$$

$$Q_L = 57.6 \text{ m}^3 / \text{h} (L)$$

$$Q = \frac{Q_L}{SF} = \frac{57.6}{1.2} = 48 \text{ m}^3 / \text{h} (B)$$

$$P = Q \times D_B = 48 \times 3 = 144 \text{ t} / \text{h}$$

محاسبه ظرفیت جام لودر:

یکی از راههای تعیین لودر مناسب در یک پروژه، تعیین ظرفیت جام مناسب برای بارگیری مقدار مشخصی خاک در مدت زمان مشخص است. به این ترتیب که اگر قرار باشد تا مقدار M تن ماده معدنی در مدت یک سال بارگیری شود و در هر سال T ساعت زمان صرف شود آنگاه خواهیم داشت:

$$P' = \frac{M}{T}$$

که در آن P' توان عملیاتی جرمی مجموعه لودرهایی است که در این پروژه کار می کنند یا به عبارتی مقدار موادی است که در یک ساعت بارگیری می شوند.

حال با استفاده از علامت P' بجای P در رابطه توان عملیاتی جرمی، حجم جام معادل ماشین آلاتی که در این پروژه کار می کنند تعیین می شود. یعنی داریم:

$$Bc' = \frac{P' \times Ct}{3600 \times Ra \times FF \times D_L}$$

در صورتی که عدد بدست آمده برای یک دستگاه لودر مناسب باشد، یک لودر با ظرفیت محاسبه شده انتخاب می‌شود. در صورتی که عدد بدست آمده برای Bc' برای یک دستگاه لودر مناسب نبود آنگاه تعداد و ظرفیت لودرهای مورد نیاز از یکی از روابط زیر بدست می‌آید:

$$Bc = \frac{Bc'}{N} \quad \text{یا} \quad N = \frac{Bc'}{Bc}$$

که در آن N تعداد لودر و Bc ظرفیت جام هر یک از آنها است. لازم به ذکر است که در این حالت ممکن است لودر انتخابی دارای مشخصات فنی (مانند سیکل کار) متفاوت از آنچه برای محاسبه فرض کرده بودیم باشد، لذا لازم است محاسبات تکرار شود تا با داده‌های فنی لودر انتخابی جواب مناسب بدست آید. برخی پارامترهای موثر در انتخاب سائز و تعداد لودر به شرح زیر می‌باشد:

- ارتفاع پله و سائز مشخصات فیزیکی پله
- سائز و عمر باقیمانده معدن
- میزان تولید سالیانه
- حجم سرمایه گذاری
- مدیریت
- کاربری
- انعطاف پذیری مورد انتظار
- دسترسی به سرویس‌های نگهداری و تعمیر ماشین آلات
- مشخصات ماشین بارگیری
- مشخصات ماده معدنی
- طرح آتشیاری
- تعداد جبهه‌کارهای فعال در معدن
- توزیع عیار در ذخیره
- کارآموزی و آموزش پرسنل

در جدول زیر الگوریتم تعیین ظرفیت جام و هزینه سرمایه‌گذاری برای این ماشین در حالتی که تناژ استخراج سالیانه موجود باشد آمده است.

پارامترهای خروجی		شرح محاسبه	پارامترهای ورودی		ردیف
متغیر	عنوان		متغیر	عنوان	
P'	تناژ ساعتی استخراج از معدن (تن بر ساعت)	$P' = \frac{M}{T}$	M	تناژ استخراج سالیانه - تناژ ذخیره تقسیم بر عمر معدن (تن)	۱
			T	تعداد ساعات کاری در سال (ساعت در سال)	
Ra	راندمان عملیات	برای محاسبه این پارامتر از جدول موجود در جزوه ترابری در معادن استفاده می‌شود.	WF	شرایط کار	۲
			MF	شرایط مدیریت	
Bc'	مجموع ظرفیت جام تمام ماشین‌های بارگیری مورد نیاز در معدن (متر مکعب)	$Bc' = \frac{P' \times Ct \times SF}{3600 \times Ra \times FF \times D_B}$	Ct	زمان یک سیکل کار ماشین (بارگیری ثانیه)	۳
			FF	فاکتور پر شونده‌گی جام	
			SF	ضریب تورم مواد	
			D_B	جرم حجمی مواد درجا (تن بر متر مکعب)	
N_L	تعداد ماشین بارگیری مورد نیاز	$N_L = f(Bc', hf, lf, nf, \dots)$	hf	مشخصات پله استخراجی	۴
			lf	مشخصات ماشین بارگیری	
Bc	ظرفیت جام ماشین بارگیری (متر مکعب)	$Bc = \frac{Bc'}{N_L}$ or $N_L = \frac{Bc'}{Bc}$	nf	تعداد جبهه کار	
				سایر (شامل مقیاس معدن و ...)	
TC_L	میزان سرمایه‌گذاری (واحد پول)	$TC_L = N_L \times C_L$	C_L	جدول ظرفیت جام ماشین آلات بارگیری قیمت ماشین آلات بارگیری (واحد پول)	۵
تکرار مراحل ۱ الی ۵ به منظور اصلاح برخی پارامترها مانند سیکل کار، شرایط کار و مدیریت و ... (در صورت نیاز).					۶

در جدول زیر الگوریتم تعیین ظرفیت جام و هزینه سرمایه‌گذاری برای این ماشین در حالتی که حجم استخراج سالیانه موجود باشد آمده است.

پارامترهای خروجی		شرح محاسبه	پارامترهای ورودی		ردیف
متغیر	عنوان		متغیر	عنوان	
Q'	حجم ساعتی استخراج از معدن (متر مکعب بر ساعت)	$Q' = \frac{V}{T}$	V	حجم استخراج سالیانه (متر مکعب درجا)	۱
			T	تعداد ساعات کاری در سال (ساعت در سال)	
Ra	راندمان عملیات	برای محاسبه این پارامتر از جدول موجود در جزوه ترابری در معادن استفاده می‌شود.	WF	شرایط کار	۲
			MF	شرایط مدیریت	
Bc'	مجموع ظرفیت جام تمام ماشین‌های بارگیری مورد نیاز در معدن (متر مکعب)	$Bc' = \frac{Q' \times Ct \times SF}{3600 \times Ra \times FF}$	Ct	زمان یک سیکل کار ماشین بارگیری (ثانیه)	۳
			FF	فاکتور پر شونده‌گی جام	
			SF	ضریب تورم مواد	
N_L	تعداد ماشین بارگیری مورد نیاز	$N_L = f(Bc', hf, lf, nf, \dots)$ $Bc = \frac{Bc'}{N_L}$ <i>or</i> $N_L = \frac{Bc'}{Bc}$	hf	مشخصات پله استخراجی	۴
Bc	ظرفیت جام ماشین بارگیری (متر مکعب)		lf	مشخصات ماشین بارگیری	
		nf	تعداد جبهه کار		
			سایر (شامل مقیاس معدن و ...)		
				جدول ظرفیت جام ماشین آلات بارگیری	
TC_L	میزان سرمایه‌گذاری (واحد پول)	$TC_L = N_L \times C_L$	C_L	قیمت ماشین آلات بارگیری (واحد پول)	۵
تکرار مراحل ۱ الی ۵ به منظور اصلاح برخی پارامترها مانند سیکل کار، شرایط کار و مدیریت و ... (در صورت نیاز).					۶

یادآور می‌شود که برای هر لودر بسته به دانسیته موادی که قرار است بارگیری شوند می‌بایست جام مناسب نصب شود. اگر مواد استخراجی دارای جرم حجمی بالایی باشند، آنگاه جام کوچکتر و اگر مواد استخراجی دارای جرم حجمی کمتری باشند، جام بزرگتری بر روی ماشین نصب می‌شود.

شرکت‌های سازنده:

برخی شرکت‌های سازنده لودر عبارتند از:

Hepco, Caterpillar, Liebherr, Dresser, LeTourneau, Volvo, Hitachi, Komatsu.

تمرین:

- ۱- توان عملیاتی جرمی و حجمی (جابجا شده و درجا) برای لودری در شرایط زیر را حساب کنید:
ظرفیت اسمی جام ۳ متر مکعب، ضریب تورم خاک ۱/۳، راندمان جام و ماشین بترتیب ۹۰ و ۵۰ درصد، جرم حجمی خاک بصورت درجا ۲/۷ تن بر متر مکعب، سرعت حرکت لودر مطابق جدول، مسافت حمل ۱۰۰ متر و زمانهای پر کردن، خالی کردن و مانور مطابق جدول.
- ۲- ظرفیت جام لودر مورد نیاز در شرایط زیر را بر حسب یارد مکعب حساب کنید.
تناژ ذخیره ۲۰ میلیون تن، عمر معدن ۵ سال، سیکل کار متوسط لودر ۷۰ ثانیه، جرم حجمی مواد در حالت درجا ۳ تن بر متر مکعب، ضریب تورم مواد ۱/۳۵ تعداد ساعات کاری سال ۶۰۰۰ ساعت و سایر پارامترها را خودتان فرض کنید.