مدیریت ماشین آلات ساخت
Managing Construction Equipment

استاد : دکتر وحید شاه حسینی

تدریس یار : مهندس امید امیری

طراحی ناوگان ماشین آلات حمل

دکتر وحید شاه حسینی- مهندس امید امیری

اهداف آموزشی

- چرخه حمل و نقل
- تعیین تعداد دستگاه حمل و نقل
- تاثیر کاهش تعداد دستگاه های حمل
- تحلیل هزینه عملیات
- روش تئوری صف بندی
- تعداد بهینه دستگاه‌های حمل
- مدیریت اجرای عملیات

چرخه حمل و نقل

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 می شود.
۲) حمل که از محل بارگیری تا محل تخلیه صورت می پذیرد.
۳) تخلیه که در محل تخلیه انجام گرفته و شامل مانور در محل تخلیه هم می شود.
۴) بازگشت که شامل بازگشت از محل تخلیه به محل بارگیری است.
۵) مدت زمانی که طول می کشد 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 می کشد تا ماشین به سرعت حد خود برسد.

عوامل فوق به دو دسته مدت زمان های ثابت (۶-۵-۳-۱)و مدت زمان های متغیر (۴-۲) گروه بندی می شوند.

مدت زمان متغیر + مدت زمان ثابت = سیکل حمل مواد

زمان بارگیری

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

در ابتدا از یک روش معین استفاده می شود که در آن فرض می شود 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 می کنیم تا به نتایج واقع بینانه تری 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 می شود که این مدت زمان ها تابع یک توزیع آماری می باشند.

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

$$\text{زمان} = \frac{\text{ظرفیت ماشین‌باربر}}{\text{تولید بارکن با راندمان ۱۰۰٪}}$$

زمان بارگیری

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

در رابطه بالا بدین دلیل راندمان را ۱۰۰ ٪ می گیریم که معمولا لودر در هنگام عمل بار زدن دارای راندمان برابر یا نزدیک به ٪۱۰۰ می باشد.

تعداد باربرهای مورد نیاز

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

اگر حاصل رابطه فوق به عدد صحیح بالاتر گرد شود، می توان اطمینان داشت که همواره لااقل 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.

دکتر وحید شاه حسینی- مهندس امید امیری

تاثیر کاهش تعداد باربر

اگر تعداد ماشین ها از N کمتر باشد، میزان تولید به همان نسبت نقصان می یابد طبق رابطه زیر:

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

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

دکتر وحید شاه حسینی- مهندس امید امیری

تحلیل هزینه

عملکرد هزینه به صورت زیر محاسبه می شود:

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

هزینه اجرایی را می‌توان برای ناوگان حمل و نقل یا ناوگان بارگیری و حمل محاسبه کرد.
با در نظر گرفتن انواع دستگاه های حمل از لحاظ اندازه می توان تعداد و هزینه بهینه ناوگان را به روش سعی و خطا یا بهینه سازی تعیین نمود.

مثال ۱

یک لودر با ظرفیت متوسط جام $1/5\ m^3$ دارای میزان تولید ۸۰ متر مکعب در ساعت و راندمان ۰/۷۵ است. کامیون های در نظر گرفته شده برای سرویس گرفتن از این لودر دارای ظرفیت ۳ متر مکعب می باشند. مدت زمان سفر و تخلیه این کامیون ها ۳۰ دقیقه برآورد شده، مطلوب است تعداد کامیون لازم و میزان تولید ساعتی مجموعه.

مثال ۱

hr ۰/۵ = مدت زمان سفر + تخلیه و مدت زمان بارگیری = $\frac{۳}{۸۰}$ = ۰/۰۳۷۵ hr

تعداد باربری‌های مورد نیاز (N) = $\frac{۰/۰۳۷۵ + ۰/۵}{۰/۰۳۷۵} = \frac{۰/۵۳۷۵}{۰/۰۳۷۵}$ = ۱۴/۳۳

بنابراین ۱۵ کامیون مورد نیاز می باشد و میزان تولید ساعتی سیستم نیز همان تولید لودر می باشد البته با احتساب راندمان کار لودر:

میزان تولید سیستم = ۰/۷۵* ۸۰ =۶۰ m3/hr

البته چون از ۱۵ کامیون استفاده کرده ایم و زمان لازم برای بارکردن این تعداد ۱۵ * ۰/۰۳۷۵=۰/۵۶۲hr کامیون می باشد . لذا زمان از دست رفته به ازای هر دوره تناوب کامیون برابر با ۰/۰۲۵ hr = ۰/۵۳۷۵ – ۰/۵۶۲۵ به ازای هر کامیون می شود. این امر فاکتور بهره وری ٪ ۹۵ را برای هر کامیون بوجود می آورد.

$$\frac{۰/۵۳۷۵}{۰/۵۶۲۵} = ۰/۹۵$$

مثال ۱

حال اگر فرض کنیم که به جای ۱۵ کامیون از ۱۴ کامیون استفاده نموده ایم. بنابراین میزان تولید سیستم به صورت زیر بدست می آید.

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

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

مثال ۲

فرض کنید یک بیل مکانیکی دارای نرخ بارگیری (۲۳۳ BCM/h)۳۰۵ BCY/h، راندمان کاری ۷۵٪ و هزینهٔ ۸۳ دلار در ساعت می‌باشد. با استفاده از داده‌های زیر تعیین کنید که از چند کامیون و با چه اندازه‌ای باید استفاده کرد تا کمترین هزینهٔ بارگیری و حمل‌ونقل را داشته باشیم؟ بازده این سیستم چقدر خواهد بود؟

اندازهٔ کامیون		هزینه ($/h)	زمان حمل (h)
BCM	BCY		
۸٫۷۹	۱۱٫۵	۳۱	۰٫۴۶
۱۱٫۳	۱۴٫۸	۳۸	۰٫۴۸

مثال ۲

زمان بارگیری (۱۱٫۵ BCY) $= \frac{۱۱٫۵}{۳۰۵} = ۰٫۰۳۷۷ \text{ h}$

$$\left[= \frac{۸٫۷۹}{۲۳۳} = ۰٫۰۳۷۷ \text{ h} \right]$$

زمان بارگیری (۱۴٫۸ BCY) $= \frac{۱۴٫۸}{۳۰۵} = ۰٫۰۴۸۵ \text{ h}$

$$\left[= \frac{۱۱٫۳}{۲۳۳} = ۰٫۰۴۸۵ \text{ h} \right]$$

$$\text{N(۱۱٫۵ BCY)} = \frac{۰٫۰۳۷۷ + ۰٫۴۶}{۰٫۰۳۷۷} = ۱۳٫۲$$

$$\text{N(۱۴٫۸ BCY)} = \frac{۰٫۰۴۸۵ + ۰٫۴۸}{۰٫۰۴۸۵} = ۱۰٫۹$$

مثال ۲

اندازه		کارکرد		هزینهٔ تجهیزات	هزینهٔ اجرا	
BCY	شماره	BCY/h	BCM/h	$/h	$/BCY	$/BCM
۱۱٫۵	۱۴	۲۲۹	۱۷۵	۵۱۷	۲٫۲۵۸	۲٫۹۵۴
۱۱٫۵	۱۳	۲۲۶	۱۷۳	۴۸۶	۲٫۱۵۰	۲٫۸۰۹
۱۴٫۸	۱۱	۲۲۹	۱۷۵	۵۰۱	۲٫۱۸۸	۲٫۸۶۳
۱۴٫۸	۱۰	۲۱۰	۱۶۱	۴۶۳	۲٫۲۰۵	۲٫۸۷۶

۱۱٫۵ – BCY کامیون @ ۲٫۱۵ $/BCY (۲٫۸۱ $/BCM)

جواب بهینه = ۱۳

کارکرد مورد انتظار = ۲۲۶ BCY/h (۱۷۳ BCM/h)

روش تئوری صف بندی

در این روش فرض بر این است که مدت زمان های بارگیری و حمل مواد به محل تخلیه و بازگشت به محل بارگیری تابع یک توزیع آماری (پواسون) می باشند. مشاهدات در محل کارگاه ها نشان می دهد که گرچه این مدت زمان ها کاملا از این توزیع های آماری متابعت نمی کنند، ولی میزان تولید محاسبه شده توسط این روش به میزان حقیقی تولید به اندازه کافی نزدیک است. نمادهای زیر در کاربرد تئوری فوق الذکر در عمل حفاری و حمل مواد مورد استفاده واقع می شوند:

n: تعداد دستگاه های حمل و نقل موجود در ناوگان

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

l : متوسط تعداد باربرهایی که توسط یک ماشین خاکبرداری بار می شوند. (بر حسب تعداد باربر بار شده در ساعت)

r : نسبت a به l

روش تئوری صف بندی

P_o : احتمال اینکه در یک لحظه بخصوص باربری برای گرفتن بار از بارکن (لودر) در محل بارگیری موجود نباشد.

Pt : احتمال اینکه یک یا بیش ازیک باربر در محل بارگیری وجود داشته باشد.

باتوجه به تعریف Ptو P۰خواهیم داشت: (Pt=۱-P۰)

برای یافتن Ptو P ۰لازم است که مقدار r تعیین شود.

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

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

لذا خواهیم داشت:

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

روش تئوری صف بندی

در رابطه بالا، تولید لودر بر مبنای راندمان ۱۰۰٪ در نظر گرفته شده است. دلیل این عمل قبلا ذکر شد. مقادیر Pt و P_0 علاوه بر رابطه با r، به n (تعداد باربرهای موجود در سیستم) نیز بستگی دارد. جداولی برای تعیین Pt تهیه شده اند که نمونه ای از آنها در جدول نشان داده شده است. میانیابی خطی در مورد مقادیر r واقع در بین مقادیر داده شده در این جدول می‌تواند به کار گرفته شود. برای دقت بیشتر، می‌توان مقدار P_0 را از رابطه زیر تعیین نمود:

$$\rho_0 = \left[\sum_{i=0}^{n} \frac{n!}{(n-i)!}(r)^i\right]^{-1}$$

احتمال این که کامیون و یا وسیله نقلیه حمل بار در محل آماده باشد (Pt)

تعداد کامیون و یا وسیله حمل بار

r	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
.01	.030	.040	.049	.059	.069	.079	.089	.099	.109	.119	.129	.138	.148
.02	.059	.078	.098	.117	.137	.156	.176	.195	.215	.234	.253	.274	.292
.03	.087	.116	.145	.174	.203	.231	.260	.288	.317	.345	.373	.401	.429
.04	.115	.153	.191	.229	.266	.304	.341	.378	.414	.450	.486	.522	.556
.05	.142	.189	.236	.282	.328	.373	.418	.462	.506	.548	.590	.631	.670
.06	.169	.224	.279	.333	.386	.439	.490	.541	.590	.637	.682	.726	.766
.07	.194	.258	.320	.382	.442	.501	.558	.613	.665	.715	.762	.804	.843
.08	.220	.291	.361	.429	.495	.559	.620	.678	.732	.782	.827	.866	.900
.09	.244	.323	.399	.473	.545	.613	.676	.736	.789	.837	.876	.911	.938
.10	.268	.353	.436	.515	.591	.662	.727	.785	.837	.880	.916	.943	.964
.11	.291	.383	.471	.555	.634	.706	.771	.828	.875	.914	.943	.964	.979
.12	.314	.412	.505	.593	.673	.746	.810	.863	.906	.939	.962	.978	.988
.13	.335	.439	.537	.627	.709	.782	.843	.892	.930	.957	.975	.987	.993
.14	.357	.465	.567	.660	.742	.813	.871	.915	.948	.970	.984	.992	.996
.15	.377	.491	.596	.690	.772	.840	.894	.934	.962	.979	.989	.995	.998
.16	.397	.515	.622	.718	.799	.864	.914	.949	.972	.986	.993	.997	.999
.17	.416	.538	.648	.743	.823	.885	.930	.960	.979	.990	.996	.998	
.18	.435	.560	.672	.767	.844	.902	.943	.969	.985	.993	.997	.999	
.19	.453	.581	.694	.788	.863	.917	.954	.976	.989	.995	.998		
.20	.470	.602	.715	.808	.879	.930	.963	.982	.992	.997	.999		
.21	.487	.621	.735	.826	.894	.941	.970	.986	.994	.998			
.22	.504	.639	.753	.842	.907	.950	.975	.989	.995	.998			
.23	.519	.657	.770	.857	.919	.958	.980	.991	.996	.999			
.24	.535	.673	.786	.871	.929	.964	.984	.993	.997				
.25	.549	.689	.801	.883	.937	.970	.987	.995	.998				
.26	.564	.704	.815	.894	.945	.974	.989	.996	.999				
.27	.577	.719	.828	.904	.952	.978	.991	.997					
.28	.591	.732	.839	.913	.957	.981	.993	.997					
.29	.603	.745	.851	.921	.962	.984	.994	.998					
.30	.616	.757	.861	.928	.967	.986	.995	.998					

تعداد بهینه باربرها (کامیون ها)

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 Pt با توجه به تعداد کامیون موجود در سیستم:

تولید سیستم = تولید عادی حفار * P_t

وقتی از تئوری صفوف استفاده می‌شود، تعداد بهینه کامیون های یک پروژه بخصوص طوری انتخاب می‌شود که مجموعه حاصل کمترین هزینه را برای تولید ایجاد نماید. قیمت تمام شده برای تعداد مخالفی از کامیون ها 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 ۱/r انتخاب شده، هزینه مربوط به هر کدام محاسبه می‌شود و کمترین آنها تعیین می‌گردد.

مشاهدات کارگاهی نشان می‌دهد که مدت زمان های حقیقی بارگیری و حمل مواد کاملا 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.

مثال ۳

یک بیل مکانیکی دارای نرخ بارگیری (۲۳۳ BCM/h) ۳۰۵ BCY/h، راندمان کاری ۷۵٪ و هزینهٔ ۸۳ دلار در ساعت می‌باشد. کامیون‌هایی که مورد استفاده قرار می‌گیرد دارای ظرفیت (۱۲٫۶ BCM) ۱۶٫۵ BCY است و ۳۱ دلار در ساعت هزینه دارد. تفاضل زمان رفت و برگشت و زمان بارگیری ۰٫۵۴ ساعت می‌باشد. تعداد بهینهٔ ماشین‌های حمل که برای این عملیات استفاده می‌شود چقدر است؟ بازده مورد انتظار و هزینهٔ هر دستگاه خاکبرداری و حمل را نیز محاسبه کنید.

$$r = \frac{۱۶٫۵}{۳۰۵ \times ۰٫۵۴} = ۰٫۱$$

$$\left[= \frac{۱۲٫۶}{۲۳۳ \times ۰٫۵۴} = ۰٫۱ \right]$$

بازده نرمال بیل مکانیکی $= ۳۰۵ \times ۰٫۷۵ = ۲۲۹$ BCY/h

$$\left[= ۲۳۳ \times ۰٫۷۵ = ۱۷۵ \text{ BCM/h} \right]$$

مقدار بهینه تقریبی n $= \frac{۱}{r} = \frac{۱}{۰٫۱} = ۱۰$

مثال ۳

هزینهٔ واحد		هزینهٔ تجهیزات	کارکرد			تعداد
$/BCM	$/BCY	$/h	BCM/h	BCY/h	P_t	کامیون‌ها
۲٫۸۵۶	۲٫۱۸۳	۳۳۱	۱۱۵٫۹	۱۵۱٫۶	۰٫۶۶۲	۸
۲٫۸۴۶	۲٫۱۷۴	۳۶۲	۱۲۷٫۲	۱۶۶٫۵	۰٫۷۲۷	۹
۲٫۸۶۰	۲٫۱۸۶	۳۹۳	۱۳۷٫۴	۱۷۹٫۸	۰٫۷۸۵	۱۰
۲٫۸۹۴	۲٫۲۱۲	۴۲۴	۱۴۶٫۵	۱۹۱٫۷	۰٫۸۳۷	۱۱

- جواب بهینه ۹ دستگاه کامیون می باشد.

مدیریت اجرای عملیات

- طبقه بندی کردن وسایل حمل بر حسب اندازه
  - برآورد تعداد دستگاه های حمل
  - مستقر کردن این دستگاه ها در کنار لودر
  - تامین دستگاه های ذخیره
  - مدیریت عملیات حمل و نقل

مدیریت عملیات حمل و نقل

- زمان شروع و توقف را برای دستگاه های حمل و نقل جابجا کنیم
- ماشین های حمل را تا حد امکان به اندازه تعیین شده بارگیری کنیم
- بدنه ماشین ها را تمیز و در وضعیت خوب نگه داریم
- دستگاه های حمل را در بالاترین سرعت ایمن و قانونی بکار گیرید
- در صورت امکان خطوط برگشت و حمل از هم جدا باشد
- یک الگوی ترافیکی برای عملیات حمل و برگشت طراحی کنید
- کاری کنید که دستگاه های حمل باعث گسترش بارگیری شود
- حرکت یکنواخت بین دستگاه های را برقرار کنید
- از بررسی مشاهدات کاری جهت برنامه ریزی استفاده کنید

خلاصه مباحث

- چرخه حمل و نقل
- تعیین تعداد دستگاه حمل و نقل
- تاثیر کاهش تعداد دستگاه های حمل
- تحلیل هزینه عملیات
- روش تئوری صف بندی
- تعداد بهینه دستگاه‌های حمل
- مدیریت اجرای عملیات