چکیده

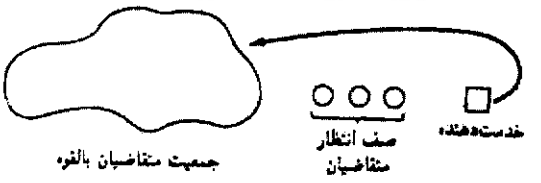
در پروژه های راه سازی عمده حجم فعالیت ها مربوط به عملیات خاکی[1] خصوصا بارگیری و حمل خاک می‌باشد که بعضا مشاهده می‌شود درصد وزنی آن به ۷۰ درصد می رسد. لذا به نظر می رسد بررسی و تحلیل در خصوص تعداد بهینه ماشین آلات مورد نیاز امری اجتناب ناپذیر بوده زیرا بار مالی فراوانی برای پروژه خواهد داشت . در این مقاله سعی بر آن است که با استفاده از تئوری صف (مدل تک سرویس دهنده) روش محاسبه تعداد بهینه ماشین آلات حمل در عملیات خاکی که بر اساس مقایسه هزینه ها صورت می‌گیرد مطرح شود. و تصمیم گیری بهینه برای مسئله نمونه اتخاذ گردد.

کلید واژه:

تئوري صف، عمليات خاكي، مدل تک‌سرويس‌دهنده، آهنگ ورود، آهنگ خدمت‌دهي، ضريب بهره‌برداري، تعداد بهينه، راهسازي، حمل خاک، صف انتظار

مقدمه

کوشش و تلاش ارلنگ[2] در سال ۱۹۰۹ میلادی برای آنالیز تراکم خط تلفن با تقاضاهای نامشخص در سیستم تلفن کپنهاگن تحت عنوان تئوری جدید صف یا خط انتظار نتیجه داد. در حال حاضر این تئوری یک ابزار با ارزش در حرفه های مختلف بوده زیرا بسیاری از مسایل و مشکلات را می توان با تئوری صف شبیه سازی و مرتفع ساخت. به عنوان مثال در پروژه های عمرانی خصوصاً راه‌سازی در قسمت عملیات خاکی[3] می توان به صورت مطلوب از تئوری مذکور استفاده نمود. سیستم صف با جمعیت متقاضی، چگونگی ورود[4] و خدمت دهی[5] ظرفیت سیستم و نظام صف مشخص می‌شود. یک سیستم ساده صف در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل۱. سیستم صف (مدل تک سرویس دهنده)[6]

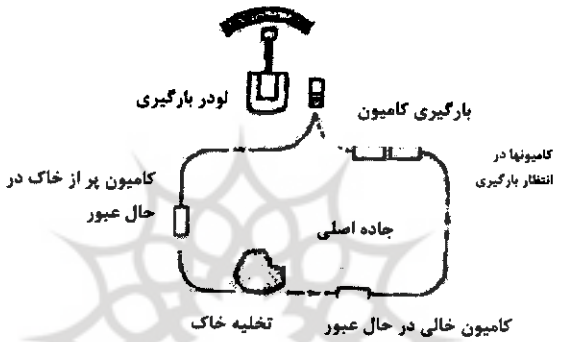
۱. تئوری صف با مدل تک سرویس دهنده

در سیستم صف با مدل تک سرویس دهنده، جمعیت متقاضی نامحدود است. یعنی اگر یک نفر جمعیت متقاضی را ترک کند و به صف انتظار ملحق شود یا به محل دریافت خدمت برود هیچ گونه تغییری در آهنگ ورود سایر متقاضیان نیازمند خدمت روی نخواهد داد. به علاوه در این سیستم ورودیها هر بار یکی و آن نیز به صورت تصادفی

رخ می دهد و اگر وارد شوندگان به صف انتظار ملحق شوند سرانجام خدمت دریافت خواهند کرد. سیستم صف واحد در حال دریافت خدمت و آنهایی را که در صف انتظارند در بر می‌گیرد. سرانجام متقاضیان به ترتیب ورود از یک خدمت دهنده خدمت می‌گیرند. شکل (۲) یک نمونه سیستم صف را در پروژه های عمرانی نشان می‌دهد.

در ادامه به بحث و بررسی عملیات خاکی (بارگیری و حمل خاک) در یک سیستم صف تک سرویس دهنده خواهیم پرداخت. یعنی فرض می‌شود که ماشین حفار (مثلا لودر یا بیل مکانیکی) یک دستگاه بوده و برای بارگیری مورد استفاده قرار می‌گیرد و تعدادی کامیون های مورد نیاز از روش تئوری صف قابل محاسبه است.

به طور کلی آهنگ ورود[۷] باید از حداکثر[۸] آهنگ خدمت دهی (service rate) کمتر باشد و گرنه طول صف انتظار به طور نامحدود افزایش می‌یابد. هر گاه صف ها به طور نا محدود رشد کنند آنها را انفجار آمیز یا ناپایدار می‌نامند. در این رابطه یک فاکتور مهم جهت ارزیابی سیستم صف وجود دارد که مقایسه نرخ ورود(λ) و متوسط نرخ سرویس دهی (μ) را نشان می دهد و تحت عنوان ضریب بهره برداری نامیده می‌شود.[۹] $u = \frac{\lambda}{\mu}$



شکل ۲) بارگیری و حمل خاک توسط لودر و کامیون

به عنوان مثال اگر نرخ سرویس دهی یک لودر ۱۵ دستگاه کامیون در ساعت(μ=15) همچنین نرخ ورود کامیونها ۱۰ دستگاه در ساعت باشد. (λ=۱۰) ضریب بهره برداری برابر است با : $u = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{10}{15} = 0.66$

بنابراین ما انتظار داریم سرویس دهنده (لودر) ۶۶ درصد از زمان مشغول باشد. و احتمال این که سیستم خالی باشد

(۱-۰/۶۶ = ۰/۳۴) می باشد. به عبارتی احتمال این که کامیونی، وارد سیستم شود و مجبور نشود منتظر سرویس‌دهی بماند ۳۴ درصد خواهد بود.

فعالیت با عامل ماشین از نظر آهنگ تولید با فعالیت های با عامل نیروی انسانی متفاوت است. زیرا بر اساس مشخصات ماشین به آسانی می توان آهنگ تولید ماشینها را تعیین نمود. درصورتی که در فعالیت با عامل نیروی انسانی به دلیل تغییرات ذاتی انسانی به سادگی نمیتوان ضریب بهره وری را محاسبه کرد.

آهنگ تولید ماشین حمل کننده مانند کامیون از فرمول زیر محاسبه می‌شود :

$N_t = c\lambda k$

N_t = آهنگ تولید واحدهای حمل کننده (کامیون)

λ = آهنگ ورود واحدهای حمل کننده

C = ظرفیت واحدهای حمل کننده

K= تعداد واحد حمل کننده در ناوگان k

که به عنوان آهنگ ورود استفاده می‌شود و در واقع تعیین کننده آهنگ تولید است که براساس زمان چرخه

$\lambda = \frac{60}{t_a}$ محاسبه می‌شود

که در آن t_a = زمان چرخه (بر حسب دقیقه) می‌باشد.

همان طور که می دانید اپراتور ماشین تمام ۶۰ دقیقه در ساعت را کار نمیکند. نه تنها باید یک مدت کوتاهی از ۶۰ دقیقه به اپراتور اجازه داده شود که به امور شخصی برسد بلکه شرایط نیز سبب کاهش بازده می‌شوند.

آهنگ تولید لودر از فرمول زیر محاسبه می‌شود : $Ns = \mu C$

N_s= آهنگ تولید لودر

μ = تعداد کامیون که در واحد زمان بارگیری می‌شوند (آهنگ سرویس)

C = ظرفیت کامیونها

در واقع آهنگ تولید عملیات هرگز از فرمول فوق بیشتر نخواهد بود. بیشترین احتمال حداکثر تولید لودر زمانی زمانی رخ می دهد که کامیون ها پشت سر هم در انتظار بارگیری باشند به این روش محاسبه تولید، معین[10] گفته می‌شود. اما ممکن است که در عمل کامیون در صف نباشد که در این صورت با استفاده از روشهای تصادفی[11] مقدار تولید باید اصلاح گردد.

آنالیز زمان چرخه روش معین است اگر یک ماشین سرویس دهنده (لودر) و ماشین سرویس گیرنده (کامیون) در نظر گرفته شود، می توان طبق فرمول زیر زمان سرویس دادن به کامیون را محاسبه نمود :

$$T_S = \frac{C_T}{C_S} \cdot T_S$$

T_s = زمان سرویس دادن

C_t = ظرفیت سرویس گیرنده

C_s = ظرفیت سرویس دهنده

t_s = زمان چرخه سرویس دهنده

آنالیز تئوری صف در حالت معین بر این اساس استوار است که تولید سرویس دهنده باید بیشتر یا مساوی با تولید سرویس گیرنده یا حمل کننده باشد. از نقطه نظر معین ایده آل زمانی است که عملیات تعادل داشته باشد به عبارت دیگر

$Ns = Nt$ در نتیجه که در آن $K = \frac{\mu}{\lambda}$

$\mu.C = C\lambda K$

اما سیستم تعادل ندارد مگر آن که واحدهای حمل کننده در صف منتظر برای بارگیری باشند.

۲.تئوری صف با مدل تصادفی

در پروژه ای که شامل عملیات خاکی است با در نظر گرفتن مجموع هزینه ماشین حفار و ماشین حمل تعداد بهینه ماشین های حمل بر اساس حداقل هزینه هر متر مکعب حمل خاک به دست می آید. اگر آهنگ تولید ماشین حفار ثابت باشد و زمان چرخه ماشین های حمل نیز یکسان باشد. تعیین تعداد کامیون مقرون به صرفه آسان خواهد بود. اما کاملا مشخص است که زمان چرخه کامیون‌ها ثابت نیست هر چند شرایط جاده حمل و تعداد کامیونها ثابت

باقی بماند در نتیجه در مواردی اتفاق می افتد که چندین کامیون در صف منتظر بارگیری باشند و یا ماشین حفاری (لودر) باید برای کامیون ها منتظر بماند، در نتیجه تولید کاهش می یابد. اگر به تعداد کامیون ها افزوده شود ظاهرا میزان تولید افزایش می یابد اما معمولا این افزایش به مقدار قابل توجهی نیست که هزینه افزایش تعداد کامیون ها را جبران کند.

کاربرد تئوری صف بر این اصل استوار است که همیشه کامیون برای بارگیری در صف وجود ندارد. بنابراین تولید مورد انتظار از حاصل ضرب تولید محاسبه شده در احتمال رخداد به دست می آید. $N=(1-P_0)\ mC$

که در آن P0 احتمال آنکه هیچ واحد حمل کننده در صف نباشد.

روابط مورد نیاز برای محاسبه تئوری صف به شرح زیر است :

N_S = بازده لودر (بیل) m^3/h

C= ظرفیت کامیون m^3

K= تعداد کامیون در عملیات خاک ریزی

L=آهنگ ورود کامیون در ساعت $\lambda = \frac{L}{t_t}$

t_t = زمان چرخه کامیون که شامل بارگیری نمیباشد.

μ = تعداد کامیون های بارگیری شده در ساعت $u = \frac{1}{T_s}$

T_s = زمان بارگیری کامیون (ساعت)

$$k = \frac{\mu}{\lambda} = \frac{t_t}{T_s}$$

μc N_s =تولید بیل در حالت ایده آل

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

(1-P0) μc N_s = تولید بیل در مواردی که قرار است بیل منتظر کامیون باشد

P0= احتمال آن که هیچ کامیونی در صف قرار نمی‌گیرد

$$P_0 = \left[\sum_{i=0}^{k} \frac{K!}{(k-i)!}(R)^i\right]^{-1}$$

$$R = \frac{T_S}{t_t} = \frac{\text{زمان بارگیری}}{\text{زمان سفر}}$$

هزینه برای هر متر مکعب = $\frac{\text{کل هزینه}}{N}$

کل هزینه = (هزینه بیل در ساعت) + (هزینه کامیون در ساعت) K

بدون شک عملیات خاکی از بزرگترین عملیات ساخت راه محسوب می‌شود. بر حسب واحد هزینه برای هر واحد سطح راه، هزینه های ماشین ها در عملیات خاکی شامل حداقل ۵۰ درصد کل هزینه می‌باشد.

بخش قابل توجه هزینه ها شامل سیستم واحدهای حمل (کامیون ها) و حفارها (لودرها) است. بازده مطلوب سیستم و کاهش هزینه تابع انتخاب مناسب تعداد و اندازه واحدهای حمل است که از حفار سرویس می‌گیرند. در این بخش روش محاسبه بهینه تعداد کامیون ها برای اندازه معین حفار براساس تئوری صف شرح داده می‌شود.سیستم عملیات خاکی شامل یک حفار و N کامیون در شکل ۲ نشان داده شده است. این سیستم صف به شرح زیر می‌باشد :

یک کامیون بارگیری می کند و به محل خاکریز سفر می کند و سپس به صف بر می گردد و یا در صورت فقدان صف بلافاصله شروع به بارگیری می‌کند. اگر صف پیوسته کامیون ها وجود داشته باشد حفار (لودر) قادر است X متر مکعب در ساعت کار کند. اگر حفار برای بخشی از زمان P_0 بیکار باشد هزینه عملیات خاکی برای هر متر مکعب برابر است با :

$$C_N = \frac{k_1 + NK_2}{X(1 - P_0)}$$

K1 = هزینه هر ساعت برای حفار K_2 = هزینه هر ساعت برای کامیونها

C_N = هزینه عملیات خاکی برای هر m_3

X = میانگین بازده حفار m_3/h

با توجه به موارد فوق تعداد بهینه کامیون ها را براساس اطلاعات ذیل به دست می آید :

میزان تولید بیل=$229 m^3/h$

ضریب عملیات = ۵۰ دقیقه در ساعت = ۰/۸۳۳

تولید در ساعت = $0.833 \times 229 = 191 m^3$

ظرفیت کامیون = $11.5 m^3$

میانگین زمان سیکل کامیون = 0.204 ساعت (بدون زمان بارگیری)

هزینه بیل در ساعت = ۱۲۰۰۰ تومان هزینه هزینه کامیون در ساعت = ۸۰۰۰ تومان

$T_t = 0.204$ ساعت

$T_s = \frac{11.5}{229} = 0.05$ ساعت

$\mu = \frac{1}{0.05} = 20$ تعداد کامیون که در ساعت بارگیری می‌شوند

$m = \frac{20}{4.91} = 4.1$ تعداد کامیون مورد نیاز

$$R = \frac{T_S}{T_t} = 0.24 \quad P_n = \left[\sum_{i=0}^{k} \frac{K!}{(k-i)!}(R)^i\right]^{-1} \Rightarrow \quad P_0 = \left[\sum_{i=0}^{4} \frac{4!}{(4-i)!}(0.24)^i\right]^{-1} = 0.327$$

از آن جایی که تعداد بهینه کامیون ها براساس کمترین هزینه تولید به دست می آید در نتیجه باید تعداد مختلف کامیون انتخاب کرد تا مقرون به صرفه ترین تعداد معین شود.

جدول ۱ محاسبات تعداد کامیون ها را بر حسب هزینه به ازاء هر متر مکعب نشان می دهد.

جدول(۱) محاسبه تعداد بهینه کامیون با استفاده از تئوری صف

تعداد کامیون	$1-P_0$	تولید عادی m^3/h	تولید احتمالی	کل هزینه (c) در ساعت (تومان)	هزینه به ازاء هر متر مکعب (تومان)
3	۰/۳۵۳	191	۱۰۲/۲۰	36000	۳۵۲/۳
4	۰/۶۷۳	191	۱۲۸/۵۴	44000	۳۴۲/۳
5	۰/۷۸۶	191	۱۵۰/۱۰	52000	۳۴۶/۴
6	۰/۸۷۱	191	۱۶۶/۴۰	60000	۳۶۰/۶

پس انتخاب ۴ دستگاه کامیون مقرون به صرفه می‌باشد.

نتیجه گیری

با توجه به موارد ارائه شده در فوق مشخص گردید که تئوری صف می تواند در مدیریت ماشین آلات راه سازی و تعداد بهینه تجهیزات آن بسیار مثمر ثمر و سودمند واقع گردد. لذا یک مدیر خوب می تواند با استفاده از تئوری مذکور و شبیه سازی سیستم صف، مقرون به صرفه ترین سیستم عملیات خاکی را در پروژه‌ها و یا در موارد مشابه به کار گیرد. البته تئوری صف در حرفه ها و مشاغل مختلف بسیار گسترده و کاربردی بوده که به دلیل وسعت مطالب از ذکر آن خودداری و تنها به قسمتی از آن پرداخته شد.

منابع

۱.GROSS.D.and C.M.HARRIS. Fundamental of Queueing Theory.new york : John Wiley & Sons Inc

۲.Optimizing Earth Woving Plant :Solution for the excavator – trucks system T.G. Cabrera Department of Civil engineering . and M.I. Maher. Institue for Transport Studies . university of leeds . England.

۳. شبیه سازی سیستم های گسسته ترجمه هاشم محلوجی – دانشگاه صنعتی شریف.

پی نوشت

[1] Earthwork
[2] A.K Erlang
[3] Earthwork
[4] Arrival
[5] Servic
[6] Queuing System
[7] Arrival rate
[8] Max
[9] Utilization factor
[10] Deterministic
[11] Stochastic