

کاربرد تئوری صف در بهبود عملیات بنادر تجاری

قدرت اله رنجبر^۱، منصور کیانی مقدم^۲

Cmu_gh2010@yahoo.com

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دریانوردی- بندر و کشتیرانی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار

۲- استادیار دانشکده مدیریت و علوم انسانی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار

چکیده

بنادر در تمامی کشورهای دریایی به عنوان نقاط اتصال تجارت جهانی قلمداد می‌شوند. مساله زمان انتظار و زمان خدمت‌دهی به کشتی‌ها از اهمیت بسزایی برخوردار هستند. بر همین اساس در بنادر پر رفت و آمد، کشتی‌ها ممکن است به علت محدودیت امکانات تخلیه و بارگیری حتی ماه‌ها در لنگرگاه‌ها، منتظر نوبت خدمت‌رسانی بمانند. در واقع بنادر را می‌توان به عنوان یک سیستم صف‌بندی با پارامترهای پایه: نرخ ورود کشتی و نرخ خدمت‌دهی به کشتی در یک واحد زمانی تعریف نمود. شاخص‌های مناسب عملیات‌های بنادر بر مبنای این پارامترها محاسبه می‌شوند. این پژوهش به توصیف کاربرد تئوری صف در بهبود عملیات بنادر تجاری جهت کاهش زمان انتظار کشتی‌ها می‌پردازد. بر اساس این مطالعات می‌توان نتیجه گرفت که تئوری صف می‌تواند با تعیین الگوی ورودی مناسب، بررسی و تحلیل سیستم‌های صف، کاهش زمان انتظار کشتی‌های آماده دریافت خدمت سبب افزایش توان عملیاتی بنادر گردد.

کلمات کلیدی

تئوری صف، عملیات بنادر، زمان انتظار

تاریخ دریافت مقاله : ۹۲/۹/۲۶

تاریخ پذیرفته شدن مقاله : ۹۳/۵/۱۷

۱ مقدمه

سبب کاهش بهره‌وری کلی آن شود [۳]. به طور کلی هیچ یک از ما انتظار کشیدن را پدیده‌ای مطلوب تلقی نمی‌کنیم. در اکثر بنادر دنیا زمان انتظار و صف‌های انتظار برای تخلیه و بارگیری شناور در اسکله وجود دارد. در عین حال صف‌های مشابه‌ای را می‌توان برای ورود و یا خروج شناورها به بندر متصور شد. زمان انتظار کشتی‌ها برای بنادر بسیار مهم است. در واقع ازدحام، انتظار و تاخیر در بندر از جمله مشکلاتی هستند که گردانندگان بنادر سعی در بهبود آن دارند [۴]. کم کردن طول صف و زمان انتظار معمولاً سرمایه‌بر است و سازمان‌دهی چنین صف‌هایی با توجه به شرایط و ویژگی‌های خاص هر بندر، نیازمند مدل‌ها و تکنیک‌های ویژه‌ای است که ممکن است در تمامی دنیا با یکدیگر متفاوت باشد. بنادر به عنوان یک سیستم پیچیده شامل زیر سیستم‌های زیر می‌باشد: یک یا چند اسکله، محوطه انبار برای محموله‌ها، شبکه ترافیک برای حمل و نقل داخلی و مناطق تخلیه و بارگیری برای وسایل نقلیه. عملیات کارآمد یک بندر از طریق هماهنگ‌سازی ظرفیت‌های زیرسیستم‌ها انجام پذیر بوده و این مورد می‌تواند از طریق مدلسازی بندر با استفاده از تئوری صف‌بندی تسهیل گردد. این پژوهش به توصیف کاربرد تئوری صف در بهبود عملیات بندر تجاری جهت کاهش زمان انتظار کشتی‌ها می‌پردازد.

۲ نظریه صف

انتظار در صف هر چند بسی ناخوشایند است، اما متأسفانه بخشی از واقعیت اجتناب ناپذیر زندگی را تشکیل می‌دهد. انسان‌ها در زندگی خود با انواع مختلف صف، که به از بین رفتن وقت، نیرو و سرمایه آنها می‌انجامد، روبرو می‌شوند [۵]. در جوامع امروزی صف‌های زیادی وجود دارند که هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی آنها قابل توجه می‌باشد. از آن جمله می‌توان صف‌های حاصل از ترافیک شهری، و نیز صف‌هایی که در فرودگاه‌ها، بنادر، موسسات مخابراتی و در پشت فرایندهای تولیدی تشکیل می‌شود نام برد. نظریه صف، که به مطالعه صف‌ها از دیدگاه ریاضی می‌پردازد، تاثیر

امروزه، در بخش‌های مختلف اقتصادی از قبیل تجارت، صنعت و حمل و نقل، افزایش کارایی و بهره‌وری اهمیت زیادی پیدا کرده است. رشد کارایی در بخش‌های مختلف با عوامل خاص هر بخش در رابطه است. در بخش حمل و نقل طیف گسترده‌ای از عوامل دخالت دارند که برای افزایش کارایی نیاز به ایجاد هماهنگی بین آنها است. در زیر بخش دریایی، بنادر تجاری را می‌توان به عنوان رابطه شبکه زمینی و ناوگان تجاری دریایی در نظر گرفت [۱]. توسعه تجارت کشتیرانی تاثیر مستقیم در توسعه یک بندر دارد. وقتی که کشتیرانی توسعه پیدا کند و کشتی‌ها وارد بنادر شوند، بنا به ظرفیت و تعداد کشتی‌ها، تغییراتی در زیرساخت‌ها و شبکه‌های بندری ایجاد می‌شود. همچنین ظرفیت سیستم‌های کنترل بار، تجهیزات و کانال‌ها افزایش می‌یابد. شرکت‌های کشتیرانی تمایل ندارند که کشتی‌هایشان در بندر منتظر بمانند، زیرا توقف بیش از حد باعث ایجاد هزینه برای شرکت‌های کشتیرانی می‌شود. بنابراین بنادر میزان سرویس‌دهی خود را افزایش می‌دهند تا مشتریان را از دست ندهند. بنادر در راستای این امر، در تلاش هستند که عملیات خدمت‌دهی به کشتی‌ها را بهبود دهند. زمان انتظار کشتی‌ها برای بنادر بسیار مهم است. در واقع مشکلاتی از قبیل ازدحام، انتظار و تاخیر در بندر از جمله مشکلاتی هستند که گردانندگان بنادر سعی در بهبود آن دارند [۲]. بنادر در حمل و نقل کالا نقش به سزایی را ایفا می‌نمایند. بنابراین خدمت‌دهی مناسب و سریع به کشتی‌ها جهت تخلیه و بارگیری آنها امری حیاتی است. استفاده بهینه از تجهیزات بندر می‌بایست با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف انجام پذیرد. سیستم حمل و نقل بندری شامل عناصر فیزیکی گوناگونی مثل اسکله‌ها، تجهیزات جابه‌جایی کالا، انبارها و تسهیلات ترافیکی می‌باشد. با وجود اینکه ظرفیت هر یک از این عناصر (بعنوان مثال حجم کالای تخلیه شده در واحد زمان) بعنوان یک عامل جداگانه در نظر گرفته می‌شود، اما ظرفیت کلی یک بندر بدین سادگی قابل بررسی نیست و هر عاملی می‌تواند

گرچه هر سیستم صف را می‌توان به این نحو تصویر کرد، آشکار است که نمایاندن دقیق و معقولی از چنین سیستم نیاز به تعیین ویژگی‌های فرایندهای مربوطه دارد.

۲-۱ ویژگی‌های فرایند صف

ویژگی‌های اساسی فرایندهای صف در این قسمت مورد بحث قرار می‌گیرند. این ویژگی‌ها به شرح ذیل می‌باشند [۸].

۲-۱-۱ الگوی ورود مشتریان

الگوی ورود یا ورودی به یک سیستم صف اغلب برحسب میانگین تعداد ورودی‌ها در واحد زمان (میانگین نرخ ورودی) یا میانگین زمان بین ورودی‌های متوالی اندازه‌گیری می‌شود [۸]. این زمان متوسط یک معیار جهت شناسایی روند اصلی ورودی فرایند بوده و اطلاعات دقیق‌تر و کامل‌تری با داشتن توزیع احتمال ورود مشتریان با بدست خواهد آمد. نرخ ورود مشتری در سیستم‌های صف عموماً با λ نمایش داده می‌شود. بدیهی است که λ برابر معکوس زمان بین دو ورود متوالی است [۵].

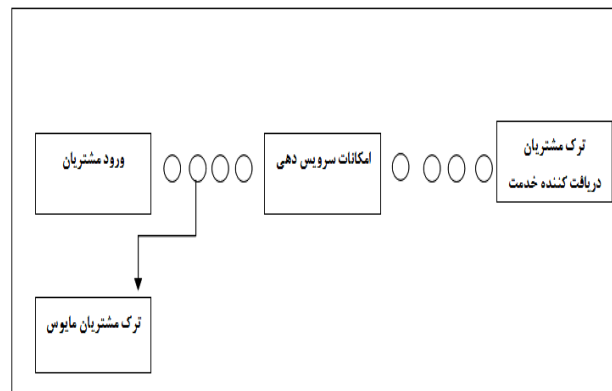
۲-۱-۲ الگوی خدمت (خدمت) دهندگان

الگوهای خدمت را می‌توان به وسیله یک نرخ (تعداد مشتریانی که در هر واحد زمان خدمت دریافت می‌دارند) یا به عنوان یک زمان (زمان لازم برای دریافت خدمت توسط مشتری) توصیف کرد [۹].

۲-۱-۳ نظام سیستم

منظور از نظام سیستم نحوه انتخاب مشتریان داخل صف برای ارائه خدمت است. در یک سیستم، موقعی که یکی از خدمت‌دهندگان بیکار آماده ارائه خدمت می‌شود، ضابطه‌های مختلفی برای انتخاب مشتری بعدی می‌تواند وجود داشته باشد. متداولترین روش در نظر گرفتن نوبت است، یعنی اینکه کسی که زودتر وارد سیستم شده و جلوتر از همه در صف قرار گرفته باشد، زودتر انتخاب می‌شود. این

عوامل تشکیل دهنده صف و راه‌های منطقی کاهش زمان انتظار را بررسی می‌کند. اگر چه هیچ‌گاه نمی‌توان صف را "کلاً" از بین برد، اما می‌توان که ضایعات ناشی از آن را حتی الامکان کاهش داد. این نظریه یک از شاخه‌های اصلی آمار کاربردی می‌باشد و در زمینه‌های مختلفی مثل؛ شبکه‌های مخابراتی، سیستم‌های کامپیوتری، کارخانجات تولیدی و حمل و نقل کاربرد دارد. موضوع تئوری صف را می‌توان این چنین تشریح کرد که یک مرکز خدمت (خدمت دهنده) وجود دارد که جمعیت مشتریان مربوطه به آن برای دریافت خدمت وارد مرکز خدمت می‌شوند. این امرموقعی اتفاق می‌افتد که مرکز خدمت قادر است تنها شمار محدودی از مشتریان را خدمت‌دهی کند [۶]. بنابراین، هروقت مشتری جدیدی وارد سیستم شود و امکانات ارائه خدمت از کار افتاده باشند یا مشغول ارائه خدمت باشد، این مشتری وارد یک صف انتظار می‌شود و تا خالی شدن و بازگشت بکار مجدد خدمت دهنده در آن صف منتظر ارائه خدمت می‌شود. پس می‌توان گفت که مرکز خدمت دارای سه عنصر اصلی؛ جمعیت مشتریان، امکانات خدمت‌دهی و صفوف انتظار می‌باشد. همچنین در تئوری صف حالت‌های مختلفی وجود دارند. بعنوان مثال ممکن است در یک شبکه چندین مرکز خدمت در نظر گرفته می‌شود و یک مشتری می‌تواند طی یک مسیر مشخصی وارد این مراکز شود و توسط چندین مرکز خدمت، خدمت‌دهی شود [۷]. چنین سیستم صف را به لحاظ شماتیک می‌توان به صورت شکل (۱) نمایش داد.



شکل (۱) نمودار شماتیک یک فرایند صف

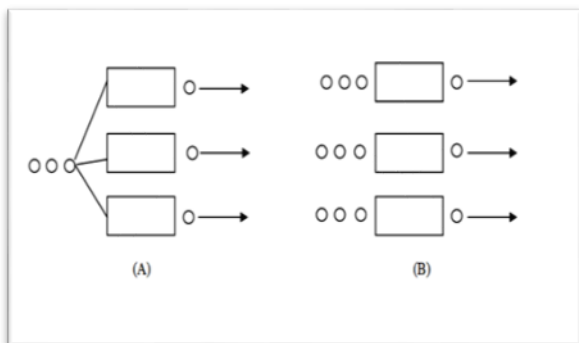
معلوم است که تحت چه شرایطی مشتریان ورودی باید از ورود به سیستم امتناع ورزند.

۲-۱-۶ جمعیت مشتری

جمعیت مشتری نمایانگر یک فاکتور مهم در تجزیه و تحلیل سیستم‌های صف است، چراکه الگوی ورود مشتری در رابطه مستقیم با جمعیت مشتری می‌باشد. جمعیت مشتری است که ورودی به سیستم صف را تولید می‌نماید. این جمعیت می‌تواند محدود یا نامحدود باشد، در یک سیستم صف، جمعیت محدود مشتری هنگامی وجود خواهد داشت که ورودی به سیستم بر روی نرخ (آهنگ) ورود مشتری‌های بعدی تاثیر بگذارد.

۲-۱-۷ تعداد کانال‌های خدمت‌دهی

تعداد کانال‌های خدمت اشاره به تعداد ایستگاه‌های خدمت موازی دارد که می‌توانند به طور همزمان به مشتریان خدمت بدهند. شکل (۱) یک سیستم تک کاناله را تصویر می‌کند، در حالی که شکل (۲) دو نوع سیستم چند کاناله را نشان می‌دهد. تفاوت این دو در این است که اولی تنها یک صف داشته، در حالیکه دومی اجازه می‌دهد که هر کانالی یک صف داشته باشد. به طور کلی فرض می‌شود که مکانیزم‌های خدمت کانال‌های موازی مستقل از یکدیگر کار کنند.



شکل (۲) سیستم صف چندگانه

۲-۱-۸ مراحل خدمت

یک سیستم صف ممکن است تنها یک مرحله برای خدمت داشته باشد؛ نظیر مثال‌های آرایشگاه و سوپر مارکت، یا

نظم را فایفو^۱ می‌نامند. در برخی سیستم‌ها ممکن است انتخاب مشتری برخلاف ضابطه فوق باشد، یعنی آن مشتری انتخاب شود که دیرتر از همه وارد سیستم شده است. به این نظام LIFO^۲ می‌گویند. ضابطه دیگر برای انتخاب ممکن است تصادفی باشد، که SIRO^۳ نامیده می‌شود، این موارد از جمله انتخاب قطعات یدکی در انبار را شامل می‌شود [۵]. نوبت گردشی^۴ در این نظام یک برش زمانی خاصی به هر مشتری داده می‌شود و اگر در این دوره کار آن مشتری به اتمام نرسید باید دوباره به سیستم برگردد تا خدمت‌دهی آن به اتمام برسد. نظام الویتی^۵، در برخی از سیستم‌ها مشتری‌های خاصی از یک نوع الویتی برخوردارند که به محض ورود آن مشتری‌ها خدمت‌دهی به دیگر مشتری متوقف شده و به آن مشتری‌ها خدمت‌دهی می‌شود. یعنی هر مشتری دارای الویت خاصی می‌باشد و خدمت‌دهنده آن مشتری را انتخاب می‌کند که بالاترین الویت را دارا می‌باشد [۶].

۲-۱-۴ ظرفیت سیستم

در بعضی از فرایندهای صف یک محدودیت فیزیکی از مقدار فضا جهت انتظار مشتری وجود و هنگامی که این فضا پر شد، مشتری اضافی دیگر اجازه ورود به این فضا را نخواهد داشت. تا زمانی که یک خدمت‌دهنده کارش تمام شود و جا برای یک نفر دیگر در این فضای انتظار باز شود. لذا نتیجه می‌شود که ظرفیت یک سیستم می‌تواند نامحدود (بینهایت) یا محدود باشد. یک صف با امکان انتظار محدود را می‌توان به عنوان صفی با امتناع اجباری ورود به سیستم مورد توجه دارد، جائیکه یک مشتری مجبور است زمانی که اندازه صف به حد خودش رسیده است وارد سیستم می‌شود. این مورد یک حالت ساده از امتناع است، زیرا به دقت

^۱ FIFO

^۲ Last In First Out

^۳ Service In Random Order

^۴ Round Robin

^۵ Priority Disciplines

احتمال اینکه خدمت‌دهنده مشغول کار باشد و مشتری باید منتظر بماند تا خدمت دریافت نماید.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (5)$$

ز- نرخ بیکاری سیستم

احتمال اینکه خدمت‌دهنده بیکار باشد و مشتری بدون انتظار خدمت دریافت نماید.

$$\rho_0 = 1 - \rho = 1 - \frac{\lambda}{\mu} \quad (6)$$

ه- احتمال n وجود مشتری در سیستم

احتمال اینکه n مشتری در سیستم وجود داشته باشد و از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$\rho_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \cdot \rho_0 = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) \quad (7)$$

ی- رابطه بین معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم

رابطه‌های بین معیارهای ارزیابی یک سیستم در دراز مدت با استفاده از استنتاج لیتل، به ترتیب زیر به دست می‌آید. این رابطه‌ها که در نظریه صف اهمیت خاصی دارند، در مورد تمام سیستم‌های صادق هستند [۱۰].

$$L = \lambda W \quad (8)$$

$$L_q = \lambda W_q \quad (9)$$

$$W = W_q + 1/\mu \quad (10)$$

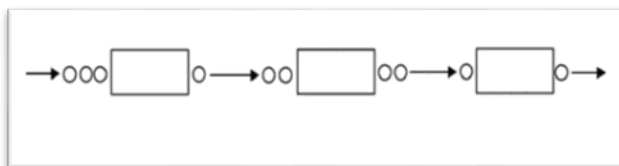
۳ تعریف بندر به عنوان یک سیستم صف‌بندی

یک بندر به عنوان یک سیستم صف‌بندی با ساختار زیر تعریف می‌گردد: تعداد ورودی کشتی‌ها که ممکن است یک صف را شکل دهند (با توجه به شرایط موجود) و خدمت‌دهی آنها (تخلیه و بارگیری) در اسکله‌ها صورت می‌گیرد (کانال‌های خدمت‌دهی) و هنگامی سیستم را ترک می‌نمایند که خدمات مورد نظر را دریافت نموده باشند.

بنابراین در بنادر که به عنوان یک سیستم صف‌بندی مورد توجه است باید به موارد زیر نیز توجه نمود:

- این احتمال وجود ندارد که انتظار داشته باشیم زمان ورود کشتی‌ها در پایانه بستگی به مسیر، سرعت کشتی بر حسب گره، آب وهوا، سازماندهی فرایند جابجایی در دریا و دلایل دیگر دارد.

ممکن است دارای چندین مرحله باشد. مثالی از سیستم چند مرحله‌ای روش معاینه فیزیکی بوده، جایی که هر بیمار باید از چندین مرحله، مانند تاریخ طبی؛ معاینه گوش، بینی و حلق آزمایش‌های خون، تهیه نوار قلبی و غیره بگذرد. در شکل (۳) یک سیستم صف چند مرحله‌ای با انجام سیکل مجدد (بازخور) رسم شده است.



شکل (۳) سیستم صف چند مرحله‌ای

۲-۲ معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم

الف- متوسط طول صف

متوسط طول صف عبارتست از متوسط تعداد افرادی که در صف انتظار قرار دارند، برابر است با:

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)} \quad (1)$$

ب- متوسط مشتریان افراد درون سیستم

برابراست با متوسط تعداد افرادی که در صف و یا در حال دریافت خدمت می‌باشند:

$$L = \frac{\lambda}{\mu-\lambda} \quad (2)$$

ج- متوسط زمان انتظار در صف

متوسط زمان انتظار در صف برابر است با متوسط زمانی یک مشتری در صف منتظر ارائه خدمت می‌باشد که فرمول آن عبارتست از:

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} \quad (3)$$

د- متوسط زمان صرف شده در سیستم

برابراست با کل زمانی که یک مشتری در سیستم صرف می‌کند که شامل زمان انتظار و زمان دریافت خدمت می‌باشد، یعنی:

$$W = \frac{1}{\mu-\lambda} = \frac{L}{\lambda} \quad (4)$$

ر- نرخ اشغال یا شدت ترافیک

۲-۳ پارامترهای اصلی فرایند خدمت‌دهی در یک بندر

پارامترهای اصلی یک بندر شامل نرخ ورود کشتی (λ) و نرخ خدمت‌دهی (μ) می‌باشد.

• برای اسکله که به عنوان یک سیستم محسوب می‌شود پارامتر λ نشان‌دهنده میانگین تعداد کشتی‌هایی است که در واحد زمان وارد بندر شده‌اند (مثلا در یک سال، ماه یا روز).

• اغلب این موارد در عمل روی می‌دهد که داده‌های مربوط به تعداد کشتی‌ها در یک واحد زمانی تنها در شرایط و زمانی قابل دسترس نیستند که بین دو ورود متوالی کشتی فاصله می‌افتد. بر مبنای این داده‌ها یک میانگین حسابی که نشان‌دهنده میانگین فاصله بین دو ورود متوالی کشتی (\bar{t}_{arr}) می‌باشد محاسبه شده است. این ورود در حقیقت به عنوان مقادیر نرخ ورود به کشتی به صورت فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

$$\bar{t}_{arr} = 1/\lambda, \text{ or } \lambda = 1/\bar{t}_{arr} \quad (11)$$

• در صورتی که تعداد کشتی‌هایی که می‌توانند در یک واحد زمانی مشخص خدمت‌دهی شوند مشخص نباشند و تنها مدت زمان خدمت‌دهی هر کشتی مشخص شده باشد، الگوی میانگین حسابی نشان‌دهنده میانگین مدت زمان خدمت‌دهی هر کشتی بوده (\bar{t}_{serv}) و این زمان مقدار دو جانبه نرخ خدمت‌دهی را به صورت زیر نشان می‌دهند.

$$\bar{t}_{serv} = 1/\mu, \text{ or } \mu = 1/\bar{t}_{serv} \quad (12)$$

• پارامتر μ نشان‌دهنده ظرفیت تطابقی یک اسکله و حاصل فرمول $S \cdot \mu$ ، می‌باشد که در آن S نشان‌دهنده تعداد اسکله‌ها بوده و به طور کلی نشان‌دهنده ظرفیت پایانه می‌باشد.

• نرخ ورود و ضریب نرخ خدمت‌دهی نشان‌دهنده به کار-گیری و یا نرخ اشغال اسکله است که به صورت ρ مشخص می‌شود که به صورت فرمول زیر نشان داده شده است.

$$\rho = \lambda/\mu \quad (13)$$

در صورتی که $\lambda > \mu$ مصداق داشته باشد یک اسکله کفایت نمی‌کند زیرا نرخ بهره بیش از ۱۰۰٪ می‌باشد. در این رویداد تعداد اسکله‌ها باید تا زمانی افزایش یابند که

• این احتمال وجود ندارد که به دقت بتوان زمان خدمت-دهی کشتی را مشخص نمود. برای مثال می‌توان به مدت زمان عملیات‌های انتقال محموله اشاره کرد که بستگی خاصی به تعداد و نوع محموله یا کانتینر، ظرفیت و تکنولوژی تسهیلات انتقال محموله، آب و هوا، سازماندهی فرایند انتقال محموله و ... دارد.

نتیجه این موارد به کارگیری (اشغال) نامنظم اسکله‌ها می‌باشد. در صورتی که تعداد کشتی‌های ورودی بیشتر از ظرفیت اسکله‌ها باشد مثلا تعداد کشتی‌هایی که می‌توانند توسط اسکله‌های موجود در یک واحد زمانی مشخص خدمات‌دهی شوند بیشتر از تعداد اسکله‌های موجود باشند، کشتی‌ها در یک صف انتظار قرار می‌گیرند و بالعکس در صورتی که تعدادی کشتی ورودی کمتر باشند نیازی به انتظار ندارند.

۱-۳ ویژگی پایانه‌های بندر از دیدگاه تئوری صف

• پایانه‌های بندر یک سیستم باز است که کشتی‌ها یک بخش مشخص از سیستم محسوب نمی‌شوند.

• یک پایانه بندری به عنوان یک سیستم تک کانالی یا چند کانالی به شمار می‌آید (با توجه به تعداد اسکله‌ها).

• تعداد ورود کشتی‌ها و همچنین مدت زمان خدمت‌رسانی برای مثال مدت زمان باقی ماندن کشتی‌ها در اسکله با توجه به توزیع احتمالات مشخص محاسبه می‌گردد (اغلب با توجه به توزیع پواسون و یا ارلانگ به عنوان یک عدد طبیعی در نظر گرفته می‌شود). زمان خدمت‌دهی کشتی همراه با زمانی که در اسکله در صف سپری می‌کند نشان‌دهنده زمان باقی ماندن کشتی در پایانه بوده و یکی از مهم‌ترین شاخص‌های عملیاتی بندر به شمار می‌آید.

• با توجه به اصول تئوری صف، یک پایانه به عنوان سیستمی معرفی شده است که در آن خدمت‌دهی اغلب با توجه به قانون FIFO (آنکه اول وارد شده اول خدمت دریافت می‌نماید) انجام می‌پذیرد اما این احتمال وجود دارد که کشتی‌های مشخصی وجود داشته باشند که در خدمت‌رسانی اولویت داشته باشند.

بر اساس مدل صف‌بندی پایانه‌ها به عنوان سیستمی مطرح هستند که اجازه می‌دهند تعداد نامحدودی از کشتی‌ها در یک صف منتظر بمانند و معمولاً با استفاده از توزیع پواسون برای ورود کشتی‌ها و زمان خدمت‌دهی به کشتی ارائه می‌گردد. برای نمونه با مدل $M/M/S/\infty$ نشان داده می‌شود. تغییری در تعداد اسکله‌ها می‌تواند به افزایش یا کاهش مقادیر شاخص‌های پایانه تاثیر گذارد: با افزایش تعداد اسکله‌ها، تعداد کشتی‌ها در صف و در پایانه و همچنین زمان انتظار و مدت زمان باقی ماندن کشتی‌ها در پایانه کاهش می‌یابد اما عدم اشغال اسکله با افزایش مواجه می‌گردد. تصمیم‌گیری در رابطه با تعداد بهینه اسکله‌ها در یک پایانه بندر، به معیارهای از قبل مشخص شده بهینه-سازی نظیر درصد کاربرد ظرفیت اسکله، زمانی که کشتی در صف سپری می‌کند، تعداد کشتی‌های موجود در صف و یا هزینه‌های انتظار کشتی‌ها و هزینه‌های عدم اشغال اسکله بستگی دارد [۱۱].

۳-۴ تشریح سیستم صف کشتی‌ها در ورودی بندر

سیستم ترافیک و تردد شناورها در ورودی بندر را می‌توان چنین تشریح کرد که شناورهای ورودی به بندر ابتدا باید وارد لنگرگاه خارجی یا برای بعضی از بنادر وارد آبراه یا رودخانه شده و تقاضای خدمات راهنمایی کنند بعد از دریافت راهنما و عبور از این مسیر وارد اسکله مورد نظر جهت تخلیه و بارگیری می‌گردند. اما این وضعیت موقعی اتفاق می‌افتد که هیچگونه شناوری جهت دریافت خدمات راهنمایی در صف انتظار نباشد.

اما، در صورتی که شناورهای دیگری در ورودی بندر در صف انتظار دریافت خدمات راهنمایی باشند شناور جدید باید در صف منتظر بماند تا اینکه شناور قبلی از وارد بندر شده و نوبت به شناور جدید برسد تا از لنگرگاه خارجی عبور کند.

شرایط پایدار سیستم خدمت‌دهی حاصل گردد که در آن ضریب بهره‌وری سیستم به صورت فرمول $\rho/S < 1$ حاصل می‌شود.

۳-۳ شاخص‌های عملیاتی یک بندر

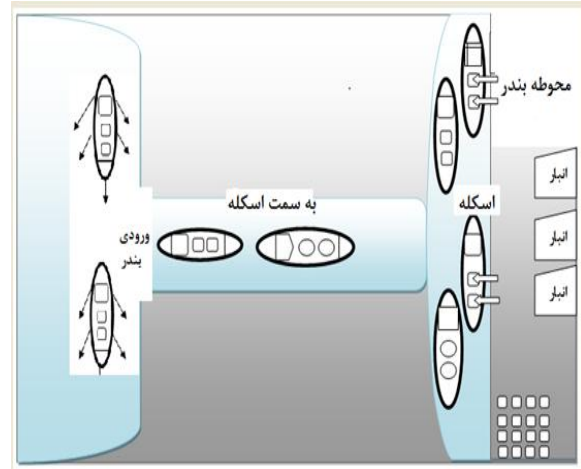
بر مبنای تعریف پایانه بندر به عنوان یک سیستم صف‌بندی و همچنین بر مبنای پارامترهای یک ترمینال شاخص‌های عملیاتی یک بندر ترمینال کانتینری قابل محاسبه خواهند بود. به این ترتیب موارد زیر را شامل می‌گردد:

- ۱- نرخ اشغال اسکله (ρ)
- ۲- نرخ بهره‌وری پایانه (ρ/S)
- ۳- احتمال این که هیچ گونه کشتی در ترمینال وجود نداشته باشد و به این ترتیب لنگرگاه اشغال نشده باشد (P_0).
- ۴- احتمال این که n کشتی در ترمینال وجود داشته باشد برای مثال این که n کشتی خدمت‌دهی می‌شوند و یا اینکه در صف در انتظار درانتظار دریافت خدمت می‌باشند (P_n).
- ۵- احتمال خدمت‌دهی برای نمونه احتمال این که کشتی که به ترمینال وارد شده است بتواند خدمت‌دهی شود (P_s).
- ۶- احتمال این که تمامی اسکله‌ها اشغال شده باشند برای نمونه یک کشتی بتواند منتظر بماند ($P(n \geq S)$).
- ۷- میانگین تعداد کشتی‌ها در صف (L_q)
- ۸- میانگین تعداد کشتی‌هایی که خدمت را دریافت نموده‌اند (L_s).
- ۹- میانگین تعداد کشتی‌هایی که در پایانه قرار دارند، برای نمونه تعداد کشتی‌هایی که در صف قرار داشته و تعداد کشتی‌هایی که خدمت‌دهی در مورد آنها انجام شده است (L).
- ۱۰- میانگین زمانی که کشتی در صف قرار دارد (W_q).
- ۱۱- میانگین زمان خدمت‌دهی به کشتی (W_s).
- ۱۲- میانگین زمان باقی ماندن کشتی در پایانه. برای نمونه زمانی که کشتی در صف می‌ماند و زمان خدمت‌دهی به کشتی (W).
- ۱۳- میانگین تعداد اسکله‌های اشغال نشده ($S-\rho$).

شود [۴]. کارایی بندر اغلب در عمل توسط شاخص عملیاتی مشخص می‌گردد که با افزایش تعداد اسکله‌ها و یا با تغییر میانگین زمان خدمت‌دهی به کشتی مشخص خواهد شد. اگرچه افزایش تعداد اسکله‌ها سبب افزایش این احتمال می‌گردد که اسکله‌هایی با فضاهای خالی ایجاد گردند و این بدین معناست که عدم اشغال لنگرگاه افزایش می‌یابد. به همین ترتیب شرایط زمان خدمت‌دهی به کشتی می‌تواند بر کیفیت خدمات به طریقی محدود تاثیر گذارد و سبب کاهش تعداد فواصل ورود کشتی گردد.

۴ نمونه مورد کاوی (پایانه کانتینری بندر بوشهر)

ترافیک کشتی‌ها در پایانه کانتینری یکی از مسائلی است که باعث کاهش بهره‌وری پایانه و نیز افزایش هزینه برای ذینفعان (بندر، صاحبان کالا و کشتی‌ها) می‌شود. در این پژوهش پایانه کانتینری بندر بوشهر به عنوان بندر مورد کاوی مورد استفاده قرار گرفت. برای جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز این تحقیق از آمار تردد کشتی‌ها استفاده شده است. این آمار به صورت یک پوشه اکسل می‌باشد که به آن ship list گفته می‌شود. این پوشه شامل اطلاعات متنوعی می‌باشد که به بعضی از آن‌ها از قبیل نام بندر، نام کشتی، عنوان و نوع خدمت خدمت، مبدأ، ملیت کشتی، نام نمایندگی ورودی، GRT^۱، نوع کشتی، گروه و نوع کشتی، تاریخ ورود، ساعت ورود، اولین اسکله پهلوگیری، زمان خدمت بر حسب دقیقه، تناژ تخلیه، تناژ بارگیری، نوع بار ورودی، طول کشتی، عرض کشتی و صاحب کالا می‌توان اشاره کرد. لازم به ذکر است که این پوشه مربوط به تمامی بنادر ایران می‌باشد. بر همین اساس چون تحقیق مورد نظر در مورد بندر بوشهر و در اسکله‌های کانتینری این بندر می‌باشد، با اجرای عملیات فیلترینگ بر روی گزینه‌های نام بندر و نوع کالا و با انتخاب بندر بوشهر به عنوان یک پایانه کانتینری تمامی اطلاعات مورد نظر از جمله زمان خدمت‌دهی، تاریخ ورود و زمان ورود کشتی‌ها مختص این بندر استخراج گردید. برای تجزیه و تحلیل



شکل (۴) سیستم صف شناورها

۳-۵ تجزیه و تحلیل سیستم صف در بنادر

برای مسئله ازدحام کشتی‌ها در یک بندر، لازم است تا پارامترهای مختلفی بدست آید؛ این پارامترها شامل نیروی کار مورد نیاز در بنادر، هزینه نیروی کار، هزینه انتظار کشتی‌ها، زمان بین دو ورود متوالی کشتی‌ها و زمان خدمت‌دهی به کشتی‌ها در بنادر می‌باشند. از میان این پارامترها، زمان بین دو ورود متوالی کشتی‌ها و زمان خدمت‌دهی به آنان در ورودی بندر دارای اهمیت فراوانی در بکارگیری تئوری صف می‌باشند و پارامترهای دیگر موقعی مورد استفاده قرار می‌گیرند که هدف بررسی و بکارگیری روش‌های هزینه - فایده برای کاهش یا افزایش تعداد خدمت‌دهنده‌ها یا به کارگیری این تکنیک‌ها در بررسی امکان‌سنجی اتوماسیون در محل پردازش یا محل خدمت‌دهی باشد. قبل از بکارگیری مدل‌های مختلف تئوری صف، مثلا $M/M/S$ یا $M/E_k/S$ ، لازم است تا بررسی شود که زمان بین دو ورود متوالی دارای توزیع یا برازش نمایی است یا خیر. اما برای توزیع زمان خدمت‌دهی، لازم است تا بررسی شود که آیا زمان بین دو ورود متوالی کشتی‌ها دارای توزیع نمایی است و یا از توزیع ارلنگ پیروی می‌کند. با به‌دست آوردن این دو پارامتر مهم، به راحتی می‌توان مدل مناسبی را برای کاهش زمان انتظار کشتی‌ها انتخاب نمود. اما در صورتیکه یکی از این دو پارامترها و یا هر دو پارامتر از این نوع توزیع‌ها تبعیت نکنند، آنکه لازم است تا به ترتیب از مدل‌های معمولی $M/G/S$ یا $G/G/S$ استفاده

^۱Gross Register Tonnage

داده‌ها با استفاده از نرم افزار ۱۹ SPSS تجزیه و تحلیل گردیدند.

اطلاعات اولیه بدست آمده نشان داد که میانگین زمان‌های بین دو ورود متوالی برابر ۲۸/۰۲ ثانیه می‌باشد. همچنین انحراف معیار آن ۲۴/۲۶ می‌باشد که میانگین و انحراف معیار نسبتاً "نزدیک به هم می‌باشند. همچنین داده دارای چولگی (انحراف نمودار) ۱/۷۲ می‌باشند.

۴-۲ زمان خدمت دهی

برای تعیین توزیع آماری، زمان خدمت‌دهی به تک تک کشتی‌ها از پوشه مربوط به تردد کشتی‌ها در بندر بوشهر استخراج گردید.

برای تعیین زمان خدمت‌دهی کشتی‌ها، فرض اصلی اینست که این روند دارای توزیع نمایی یا توزیع ارلنگ باشد بر همین اصل اطلاعات بدست آمده با استفاده از نرم افزار Excel ۲۰۰۷ تحلیل گردید. میانگین زمان خدمت‌دهی به کشتی‌ها عدد ۳۱/۶۶ بدست آمد و انحراف معیار آن مساوی ۶۰/۱۰۱ گردید، همچنین داده‌ها دارای چولگی (انحراف نمودار) ۱/۶۵ می‌باشند که نشان‌دهنده این امر می‌باشد که برازش آن بصورت غیر نرمال است.

۴-۳ محاسبه معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم

باتوجه به اینکه، میانگین زمان بین دو ورود متوالی کشتی‌ها برابر ۲۸/۰۲ محاسبه گردید، در نتیجه با توجه به اینکه نرخ ورود کشتی‌ها مساوی با معکوس زمان بین دو ورود متوالی می‌باشد، این نرخ مطابق زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{میانگین زمان بین دو ورود متوالی کشتی‌ها} = \frac{1}{\text{نرخ ورود کشتی‌ها}}$$

$$\text{نرخ ورود کشتی‌ها} = \frac{1}{28/02} = 0/035$$

از طرفی، زمان خدمت‌دهی کشتی‌ها برابر ۳۱/۶۶ محاسبه گردید، در نتیجه نرخ خدمت‌دهی کشتی‌ها که برابر معکوس میانگین زمان خدمت‌دهی کشتی‌ها می‌باشد، به شیوه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{میانگین زمان خدمت‌دهی کشتی‌ها} = \frac{1}{\text{نرخ ورود کشتی‌ها}}$$

$$\text{نرخ ورود کشتی‌ها} = \frac{1}{31/66} \approx 0/035$$

مسئله ازدحام کشتی‌ها در این بندر لازم است تا پارامترهای مختلفی محاسبه شوند؛ این پارامترها شامل نیروی کار مورد نیاز در بنادر، هزینه آنها، هزینه انتظار کشتی‌ها، زمان بین دو ورود متوالی کشتی‌ها و زمان خدمت‌دهی به کشتی‌ها در بندر می‌باشند. از بین این پارامترها، زمان بین دو ورود متوالی و زمان خدمت‌دهی کشتی‌ها در ورودی بندر در بکارگیری تئوری صف حائز اهمیت می‌باشد. رایج‌ترین توزیع آماری که برای زمان بین دو ورود متوالی در تئوری صف مورد استفاده قرار می‌گیرد، توزیع نمایی یا همان فرایند پواسیون می‌باشد. تحلیل آماری داده‌های به دست آمده، نشان می‌دهد که مدل صف M/M/S به عنوان مناسب‌ترین مدل جهت تحلیل سیستم صف کشتی‌ها در پایانه مورد کاوی (بوشهر) می‌باشد. برای بکارگیری مدل‌های M/M/S، لازم است تا بررسی شود که آیا زمان بین دو ورود متوالی^۷ و توزیع زمان خدمت‌دهی هر دو از توزیع نمایی پیروی می‌کنند یا خیر؟ بنابراین لازم است بررسی شود که اگر فرآیند از توزیع نمایی پیروی نمی‌کند آیا از فرآیند توزیع ارلنگ پیروی می‌کند؟ با بدست آوردن این دو پارامتر مهم می‌توان مدل مناسبی را برای کاهش زمان انتظار کشتی‌ها انتخاب نمود.

از طرفی با توجه به اینکه تعداد ۲ پست اسکله جهت پهلوودهی کشتی‌ها در پایانه کانتینری بندر بوشهر وجود دارد مدل در نظر گرفته شده چند خدمت‌دهنده بوده و در نتیجه از مدل M/M/۲ مورد تحلیل قرار گرفت.

۴-۱ زمان بین دو ورود متوالی

اگر توزیع آماری ورودی کشتی‌ها با دقت بالایی تخمین زده شود، برنامه‌ریزان می‌توانند با اتخاذ تصمیمات با قابلیت اعتماد بیشتر برنامه‌های توسعه‌ای بنادر خود را طرح‌ریزی کنند که سبب می‌شود تا از ساخت و سازهای اضافی و یا کمبود ساخت و سازها جلوگیری شود. بعد از محاسبه زمان بین دو ورود متوالی کشتی‌ها، اطلاعات آمار توصیفی این

^۷ Inter-Arrival Time

۶ پیشنهادات

پس از محاسبه معیارهای مختلف ارزیابی سیستم جهت بهبود عملکرد سیستم و به حداقل رساندن میانگین زمان انتظار کشتی‌ها و نیز تعداد کشتی‌های موجود در سیستم و صف و افزایش توان عملیاتی بندر بوشهر دو راهکار کاهش زمان خدمت‌دهی (افزایش نرخ خدمت‌دهی و افزایش تعداد خدمات‌دهنده‌ها (افزایش تعداد اسکله‌ها) مطرح گردید.

منابع

[۱] امامی آزندی، مجتبی، بررسی سیستم صف انتظار نوبت کشتی‌ها در ترمینال غلات بندر شهید رجایی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۷۶.

[۲] قاسمی‌فرد، بختیار، بررسی زمان انتظار کشتی‌ها در اسکله کالاهای فله خشک بندر امام خمینی با استفاده از تئوری صف، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، چابهار، ۱۳۹۲.

[۳] M. E. El-Naggar, "Application of Queuing Theory to the Container Terminal at Alexandra Port", Journal of Soil Science and Environment Management, Volume ۱, No. ۴, pp. ۷۷-۸۵, ۲۰۱۰.

[۴] Guan Qian, W. "Analysis of Marine Container terminal Gate Congestion, Truck Waiting Cost and System Optimization", Phd Thesis, New Jersey Faculty of Technology, USA, pp. ۱-۱۳, ۱۲۷-۱۳۰, ۲۰۰۹.

[۵] مدرس‌یزدی، سید محمدتقی، نظریه صف، تهران، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۷۰.

[۶] رئیسی، فاروق، کاهش صف انتظار کامیون‌ها در اسکله کالاهای فله خشک بندر امام خمینی با استفاده از تئوری صف، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ۱۳۹۱.

[۷] Willig, A. "A Short Introduction to Queuing Theory", Technical Universi Berlin, Telecommunication Networks Group, Sekr. FT ۵-۲, Einsteinufer ۲۵, ۱۰۵۸۷ Berlin, Pp. ۳-۵, July ۲۱, ۱۹۹۹.

در نتیجه معیارهای مختلف ارزیابی عملکرد سیستم مورد مطالعه مطابق جدول زیر محاسبه می‌گردند:

جدول (۱) معیارهای مختلف ارزیابی عملکرد سیستم بندر بوشهر

ورودی	رابطه	خروجی
ρ	$\frac{0/035}{2 \times 0/032}$	۰/۵۶
ρ	$1 - \rho = 1 - 0/56$	۰/۴۴
Lq	$\frac{2 \times (0/56)^2}{(1 - 0/56)^2}$	۰/۵۲۶
wq	$\frac{Lq}{\lambda} = \frac{0/536}{0/032}$	Hrs ۱۵/۰۱۵
W	$+ 0.15/15 = Wq + 1/\mu$ ۶۶/۳۱	۸۱/۴۶
Ws	λLs	۱/۶۷

همانگونه که ملاحظه می‌شود، ضریب بهره‌وری سیستم صف کشتی‌ها در اسکله‌های کانتینری بندر بوشهر برابر ۰/۵۶ محاسبه گردید. در مرحله بعدی فاکتورهای دیگر ارزیابی عملکرد سیستم مورد نظر محاسبه می‌گردند:

۵ نتیجه‌گیری

بنادر به عنوان یک سیستم صف‌بندی مطرح تلقی می‌شوند که برای ارزیابی عملکرد آن شاخص‌های مناسبی محاسبه می‌گردند برای نمونه احتمال عدم اشغال اسکله، تعداد کشتی‌های در انتظار و زمان انتظار کشتی‌ها در صف و ... مطرح است. بنادر به عنوان یک سیستم پیچیده صف از چندین سیستم فرعی تشکیل شده است. به این ترتیب برای تسهیل کارایی عملیاتی بندر آن چه که ضرورت دارد هماهنگ‌سازی متقابل ظرفیت تمامی سیستم‌های فرعی به شکلی است که خروجی از یک زیر سیستم نشان‌دهنده ورودی به زیرسیستم بعدی باشد. بنابراین می‌توان گفت با بهینه‌سازی شیوه‌های ورودی کشتی‌ها و سرویس‌دهی آن‌ها، زمان انتظار کشتی‌ها در بنادر کاهش پیدا می‌کند.

از اینرو می‌توان به تاثیر مثبت مدل کاربردی تئوری صف، مبنی بر کاهش زمان انتظار کشتی‌ها و معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم‌های صف و بهبود عملیات تخلیه و بارگیری و نیز تعیین تعداد بهینه اسکله در بنادر تجاری پی برد.

[۸] ایروانی، سید محمدرضا، سیستم‌های صف، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه علم و صنعت تهران، ۱۳۷۲.

[۹] آدن، ایو و رسینگ، آموزش تئوری صف، ترجمه صادق عابدی، مسعود رفعتی و دکتر ناصر حمیدی، قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی قزوین، ۱۳۹۲.

[۱۰] Kiani, M. "The Impact of Automation on the Efficiency and Cost Effectiveness of the Quayside Cranes and the Selection Decision for the Yard Operation Systems", PhD Thesis, School of Engineering, Liverpool John Moors University, Pp. ۱۵۳-۱۷۹، ۲۰۰۶.

[۱۱] Zenzerovic, Z., Vilke, Sinisa, Jurjevic, Mia, Queuing Theory in Function of Planning the Capacity of the Container Terminal in Port of Rijeka, University of Rijeka, Croatia, Pomorstvo, Volume, ۲۵, No. ۱, pp. ۴۵-۶۹, ۲۰۱۱.