

# بررسی زمینه های کاهش زمان انتظار کشتی های تجاری در اسکله های فله خشک

## با استفاده از تئوری صف (مورد کاوی بندر امام خمینی)

منصور کیانی مقدم<sup>۱</sup>، سید بختیار قاسمی فرد<sup>۲\*</sup>

۱- دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار

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

ghasemi.bakhtiar@gmail.com

### چکیده:

بنادر به عنوان اصلی ترین نقاط مواصلاتی کشور از اهمیت اساسی برخوردار می باشند. بیشترین حجم تجاری یک کشور از طریق بنادر جابه جا می شود. در حقیقت اقتصاد یک کشور از یک بندر خارج و یا به یک بندر وارد می شود. اما به هر حال مشکلات متعددی بر سر راه عملیات روان هر بندر وجود دارند که سبب می شود بهره وری و کارایی بندر پایین بیاید و در نتیجه تاثیر به سزایی روی سودآوری بنادر خواهد داشت. بندر امام خمینی دومین بندر کشور در امر تخلیه و بارگیری کالاهای فله می باشد. این مقاله در جهت کاهش ترافیک کشتی ها در پایانه فله خشک بندر امام خمینی می باشد که برای انجام مطالعات از تئوری صف استفاده شده است. زیرا تئوری صف یکی از روش های بسیار موثر جهت کاهش صف و زمان انتظار کشتی ها می باشد و در بنادر از کاربرد بالایی برخوردار است. از مهمترین یافته های این تحقیق می توان به افزایش تعداد سرورها اشاره نمود که باعث کاهش زمان انتظار کشتی ها در صف خواهد شد.

کلید واژه: پایانه کالاهای فله خشک، تئوری صف، زمان انتظار کشتی ها

مقدمه:

امروزه، دربخش‌های مختلف اقتصادی از قبیل تجارت، صنعت و حمل و نقل، افزایش کارآیی و بهره‌وری اهمیت زیادی پیدا کرده است. رشد کارآیی دربخش‌های مختلف با عوامل خاص هر بخش در رابطه است. در بخش حمل و نقل طیف گسترده‌ای از عوامل دخالت دارند که برای افزایش کارآیی نیاز به ایجاد هماهنگی بین آنها است. در زیربخش دریایی، بنادر تجاری را می‌توان به عنوان رابطه شبکه زمینی و ناوگان تجاری دریایی در نظر گرفت (امامی آرندی، ۱۳۷۶). سیستم حمل و نقل بندری شامل عناصر فیزیکی گوناگونی مثل اسکله-ها، تجهیزات جابه‌جایی کالا، انبارها و تسهیلات ترافیکی است.

بنابراین، تحقیق حاضر بر روی کاهش زمان انتظار کشتی‌های اسکله فله خشک تمرکز دارد. در این خصوص از شاخص‌های اندازه گیری کارآیی و بهره‌وری سیستم استفاده می‌شود و سعی خواهد شد تا با استفاده از تئوری صف‌روشی ارائه شود که سبب کاهش ترافیک کشتی‌ها در بندر مورد مطالعه شده و نهایتاً سبب افزایش کارآیی و بهره‌وری عملیات این بندر گردد.

### پیشینه تحقیق:

Elnagar و دیگران (۲۰۱۰) از تئوری صف برای پیش بینی تعداد بهینه اسکله‌های مورد نیاز یک بندر برای پاسخگویی به رشد ترافیک آتی آن بندر استفاده کرد. وی تحقیق خود را بر این فرض استوار کرد، که هرچه هزینه‌نهایی اسکله‌ها (ساخت و نگهداری) از هزینه تاخیر کشتی‌ها در صف‌های انتظار کمتر باشد، افزایش تعداد اسکله‌ها با صرفه‌تر خواهد بود. وی سپس از تئوری صف برای تعیین تعداد کشتی‌های موجود در صف و تعیین میانگین تاخیر کشتی‌ها، استفاده کرد و در آخر نتیجه گرفت که بیشترین کارآیی برای بنادر موقعی بدست خواهد آمد که هزینه کلی بندر (هزینه بدون کارکرد بودن بندر در یک مقطع زمانی خاص به اضافه هزینه‌های زمان انتظار کشتی برای پهلوگیری در همان دوره) به حداقل برسد.

ملکی و دیگران (۱۳۷۶)، در طرحی تحقیقاتی به بررسی کاهش زمان سرویس‌دهی و توقف کشتی در اسکله‌های بندر انزلی پرداختند. آن‌ها علل عمده توقف عملیات تخلیه و بارگیری و افزایش زمان سرویس‌دهی را تحت ۳ علت برون سازمانی، درون سازمانی و سایر موارد مورد بحث و بررسی قرار دادند. برای کاهش زمان سرویس‌دهی پیشنهادهای از قبیل هماهنگی بین نمایندگان کشتی و مسئولین بندری قبل از ورود به بندر، برنامه‌ریزی مناسب زمانی برای عملیات ورود کشتی و تخلیه و بارگیری را ارائه دادند.

حق شناس و شریعت (۱۳۷۷) با مطالعه آمارهای بدست آمده از بندر نوشهر روند تخلیه و بارگیری در این بندر را مورد بررسی قرار دادند و در حین بررسی، یکی از بارزترین نقاط ضعف این فرایند، یعنی افزایش زمان سرویس‌دهی در این بندر را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. آنها چهار عامل اصلی افزایش واردات غیر

نفتی، کمبود وسائل حمل و نقل داخلی و تجهیزات تخلیه و بارگیری دربندر، کمبود تعداد کامیون های حمل یکسره و کمبود مساحت انبارهای موجود در این بندر را سبب افزایش زمان سرویس دهی در این بندر بیان کردند.

### اهمیت تحقیق:

در پایانه فله خشک بندر امام خمینی مشکلات عدیده ای وجود دارد که با استفاده از داده های به دست آمده از سازمان بنادر و دریانوردی و مصاحبه اولیه با کارکنان، مشخص گردید که کشتی ها زمان نسبتاً زیادی را در اسکله و منتظر دریافت سرویس خواهند گذراند.

ایستایی بیش از اندازه کشتی هادر اسکله سبب خواهد شد تا زمان مجاز تخلیه و بارگیری افزایش یابد، و در نتیجه کشتی ها باید هزینه دیرکرد قابل توجهی را بپردازند. همچنین ممکن است هزینه های خدمه و تخلیه و بارگیری آن ها نیز افزایش یابد. از طرفی زمان سرویس دهی و تخلیه و بارگیری بیش از اندازه سبب خواهد شد تا از نظر تبلیغاتی و بازاریابی اسکله و یا بندر، از وجهه خوبی برخوردار نگردد و در نتیجه باید تمهیدات و روش ها و تفکیک های کارآمدی به کار روند تا کارآیی و اثربخشی و در نتیجه بهره وری پایانه فله خشک و در نهایت سیستم کلی بندر امام خمینی بهبود پیدا نماید. تئوری صف یکی از بهترین روش ها جهت مطالعه و بهینه سازی سیستم صف و ترافیک است (Willig, ۱۹۹۹).

### روش حل مسئله

در این تحقیق مسئله در دو مرحله اولیه و ثانویه حل می شود که در زیر به توضیح مراحل اولیه و ثانویه پرداخته خواهد شد.

#### مرحله اولیه

مرحله اولیه برای حل مسئله تحقیق شامل مراحل زیر است:

➤ بررسی آمار توصیفی زمان بین دو ورود متوالی کشتی ها:

آمار توصیفی لازم برای حل مسئله تحقیق عبارتند از:

$$\bar{x} = \sum \frac{x_i}{n} \quad (1)$$

میانگین زمان بین دو ورود متوالی کشتی ها:  $\bar{x}$  تعداد داده ها:  $n$  مقادیر داده ها:  $x_i$

➤ میانه زمان بین دو ورود متوالی کشتی ها:

برای به دست آوردن میانه می بایست داده ها را به صورت صعودی مرتب نموده و سپس از طریق رابطه (۱) - (۲) مکان میانه را بدست آورده و سپس با مراجعه به داده ها به موقعیت  $m$  رفته و داده مورد نظر برابر با میانه است.

$$m = 0.5 \times (n + 1) \quad (۲)$$

➤ مد زمان بین دو ورود متوالی کشتی‌ها:

مقدار مد برابر است با بیشترین داده‌ای که در بین داده‌ها تکرار شده است.

➤ واریانس زمان بین دو ورود متوالی کشتی‌ها:

$$S^2 = \sum \frac{(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} \quad (۳)$$

$S^2$ : مقادیر داده‌ها  $x_i$ ; واریانس  $\bar{x}$ ; میانگین داده‌ها  $n$ : تعداد داده‌ها

➤ انحراف معیار زمان بین دو ورود متوالی کشتی‌ها:

$$S = \sqrt{S^2} \quad (۴)$$

➤ انحراف نمودار (چولگی) زمان بین دو ورود متوالی کشتی‌ها:

$$K = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3 \quad (۵)$$

انحراف معیار  $S$ ; میانگین داده‌ها  $\bar{x}$ ; مقادیر داده‌ها  $x_i$ ; تعداد داده‌ها  $n$ ; چولگی  $K$ :

➤ مینیمم: کوچکترین داده در بین داده‌ها

➤ ماکزیمم: بزرگترین داده در بین داده‌ها

➤ محاسبه نرخ ورود شناورها:

$$\rho = 1/\mu \quad (۶)$$

میانگین زمان بین دو ورود شناورها:  $\mu$ ; نرخ ورود شناورها:  $\rho$

➤ آمار توصیفی زمان ارائه سرویس دهی شناورها:

مجموعه فرمول‌های این بخش همانند بخش زمان بین دو ورود متوالی کشتی‌ها است. یعنی از رابطه (۱) تا رابطه (۶).

➤ محاسبه نرخ سرویس دهی شناورها:

$$\rho = 1/\mu \quad (۷)$$

میانگین زمان سرویس دهی شناورها:  $\mu$ ; نرخ سرویس دهی شناورها:  $\rho$

آزمون نیکویی برازش کایمربع (خیدو)

آزمون نیکویی برازش کایمربع هم برای داده‌های پیوسته و هم داده‌های گسسته مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش هیستوگرام داده‌های مشاهده شده با تابع چگالی ترسیم شده مقایسه می‌شود. فرض‌های

کلی زیر نیز برای آزمون نیکویی برازش مورد نظر بکار می‌رود (Guan, ۲۰۰۹):

$H_0$ : داده‌های مشاهده شده، متغیرهای احتمالی با تابع توزیع  $F$  است.

$H_1$ : داده های مشاهده شده، متغیرهای احتمالی با تابع توزیع  $F$  نیست.

برای محاسبه آزمون کای مربع برای فرایندهای گسسته، اول از همه باید زمان های  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$  را برای زمان های بین دو ورود متوالی تعیین کرد. سپس برد کلیه داده های برآزش شده را باید به  $k$  فاصله مساوی تقسیم کرد. تعداد  $t$  هایی که در هر دسته قرار می گیرد را باید براساس  $k$  فاصله ای تعیین کرد، که  $e_i$  نامیده می شود. سوماً، تعداد  $t$  هایی را که دقیقاً در طبقه  $i$  قرار می گیرند را محاسبه کرده که  $O_i$  نامیده می شود. چهارم، برای محاسبه آماره کای مربع ( $\chi^2$ ) مشاهده شده، رابطه زیر بکار گرفته می شود (Guan, 2009):

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - e_i)^2}{e_i} \quad (8)$$

اندازه  $\chi^2$  مشاهده شده از فرایند کای مربع با درجه آزادی  $k-2$  پیروی می کند. اگر  $\chi^2$  کوچک باشد، بنابراین می توان فرض کرد که  $t$  ها نمونه هایی از یک متغیر احتمالی با تابع چگالی  $f(t)$  می باشند. در سطح خطای  $\alpha$ ،  $H_0$  موقعی پذیرفته می شود که  $\chi^2$  (مشاهده شده) کوچکتر از  $\chi^2_{k-r-1}(\alpha)$  باشد و  $H_0$  رد می شود، به شرطی که  $\chi^2$  (مشاهده شده) بزرگتر از  $\chi^2_{k-r-1}(\alpha)$  باشد.  $r$  تعداد پارامترهایی است که برای تعیین توزیع آماری مناسب باید محاسبه شود. برای مثال، اگر زمان بین دو ورود متوالی و زمان سرویس دهی نمایی باشند،  $r$  برابر یک می شود و اگر دارای توزیع نرمال یا ارلنگ باشند،  $r$  برابر ۲ یا بیشتر می شود. موقع تعیین حدود طبقه های  $k$  لازمست تا اطمینان کسب شود تا  $e_i$  حداقل مقدار ممکن را دارا است و  $k \leq 30$  است (Guan, 2009). اندازه  $\chi^2$  از اهمیت زیادی برخوردار است؛ هرچه اندازه آن بزرگتر باشد، دلیل قبول کردن فرض  $H_0$  بیشتر خواهد بود (آذر و مومنی، ۱۳۸۵).

## مرحله ثانویه

مرحله ثانویه در ۲ گام انجام می شود.

### حل مسئله تحقیق، شامل مدل M/G/S:

در این مدل ورود مشتری ها طبق فرایند پواسیون با آهنگ  $\lambda$ ، مدت زمان سرویس متغیر تصادفی دلخواه با تابع چگالی  $b(t)$ ، و سیستم دارای  $S$  سرویس دهنده است.

چون در پایانه فله خشک بندر امام خمینی (ره)، تعداد ۱۰ اسکله فله خشک وجود دارد، بنابراین مدل مورد نظر در این تحقیق چند سرور بوده و بجای استفاده از مدل تک سرور M/G/1 از مدل چند سرور M/G/S استفاده می‌شود.

در مدل M/G/S، معیارهای مختلف ارزیابی عملکرد سیستم به صورت میانگین طول صف از روابط زیر به دست می‌آیند:

➤ ضریب بهره‌وری سیستم

$$\rho = \lambda/\mu \times s \quad (9)$$

میانگین زمان سرویس دهی شناورها:  $\mu$ ؛ تعداد سرورها:  $s$ ، ظرفیت مورد تقاضا:  $\lambda$ ؛ ضریب بهره‌وری سیستم:  $\rho$

➤ ضریب بیکاری سیستم

$$\rho_0 = 1 - \rho \quad (10)$$

ضریب بیکاری سیستم:  $\rho_0$

ضریب بهره‌وری سیستم:  $\rho$

➤ میانگین تعداد شناورهای موجود در پایانه فله خشک

$$L = W \times \lambda \quad (11)$$

میانگین زمان انتظار شناورها در پایانه فله:  $W$ ، میانگین تعداد شناورهای موجود در پایانه فله خشک:  $L$

ظرفیت مورد تقاضا:  $\lambda$

➤ میانگین تعداد شناورهای موجود در صف

$$L_q = \frac{r^{s-1} [\lambda^2 V_{arr}(s) + r^s]}{2(s-1)(s-r)^2 \left[ \sum_{j=0}^{s-1} \frac{r^j}{j} + \frac{r^s}{(s-1)(s-r)} \right]} \quad (12)$$

$$r = \frac{\lambda}{\mu} = \lambda E(S) \quad (13)$$

➤ میانگین زمان انتظار شناورها در پایانه فله خشک

$$W = W_q + 1/\mu \quad (14)$$

، میانگین زمان انتظار شناورها در صف:  $W_q$ ، میانگین زمان انتظار شناورها در پایانه فله خشک:  $W$

میانگین زمان سرویس دهی شناورها:  $\mu$

➤ میانگین زمان انتظار شناورها در صف

$$W_q = L_q/\lambda$$

(۱۵)

### تحلیل حساسیت افزایش تعداد اسکله

### روش تجزیه و تحلیل اطلاعات

در بندر امام خمینی (ره) ۱۰ اسکله فله خشک وجود دارد. بر همین اساس در این تحقیق از مدل چند سرور  $M/G/S$  که در تئوری صف کاربرد فراوانی در سیستم های بیش از یک سرور دارد استفاده می شود. در این مدل، سیستم ورود مشتریان دارای توزیع نمایی مارکوف ( $M$ ) و زمان سرویس دهی آن از توزیع کلی و عمومی ( $G$ ) پیروی می کند که در آن  $S$  بیانگر تعداد سرورها است. سیستم صف چند سرور، ظرفیت سیستم نامحدود و نظام سیستم به صورت FIFO<sup>۳</sup> است.

سیستم مورد مطالعه در این تحقیق وضعیتی دارد که در آن مشتریان، کشتی های حامل کالاهای فله خشک می باشند و سرویس دهنده در این سیستم اپراتورهای اسکله های فله خشک بندر امام خمینی خواهند بود. سرویس مورد نظر، کنترل و عملیات تخلیه و بارگیری کشتی های مربوطه خواهد بود. سعی خواهد شد تا میزان انتظار کشتی ها در این سیستم با استفاده از تئوری صف حل شود و راه های کاهش آن بررسی شود.

### حل مسئله بر اساس روش تحقیق

رایج ترین توزیع آماری که برای زمان بین ورود متوالی در تئوری صف مورد استفاده قرار می گیرد، توزیع نمایی (فرایند پواسون) است. قبل از بکارگیری مدل های  $M/M/S$  یا  $M/E_k/S$ ، لازم است تا بررسی شود که زمان بین دو ورود متوالی دارای توزیع یا برزش نمایی است یا خیر. اما برای توزیع زمان سرویس دهی، لازم است تا بررسی شود که آیا زمان بین دو ورود متوالی کشتی ها دارای توزیع نمایی است و یا از توزیع ارلنگ پیروی می کند. با به دست آوردن این دو پارامتر مهم، به راحتی می توان مدل مناسبی را برای کاهش زمان انتظار کشتی ها انتخاب نمود. اما در صورتیکه یکی از این دو پارامترها و یا هر دو پارامتر از این نوع توزیع ها تبعیت نکند، آنگاه لازم است تا به ترتیب از مدل های  $M/G/S$  یا  $G/G/S$  استفاده شود (رئیسی، ۱۳۹۱).

### مرحله اولیّه، بررسی آمار توصیفی:

در این مرحله آمار توصیفی زمان بین دو ورود متوالی کشتی ها بر اساس روابط (۱) تا (۵) به دست می آید. در مجموع ۳۰۸ کشتی مشاهده شد که زمان بین دو ورود هر کدام از آن ها به صورتی که توضیح داده شد، محاسبه گردید. همچنین اطلاعات مربوط به آمار توصیفی این داده ها با استفاده از نرم افزار Excel 2010 بدست آمدند که در جدول (۱) نشان داده شده است.

<sup>۳</sup>First In – First/Out

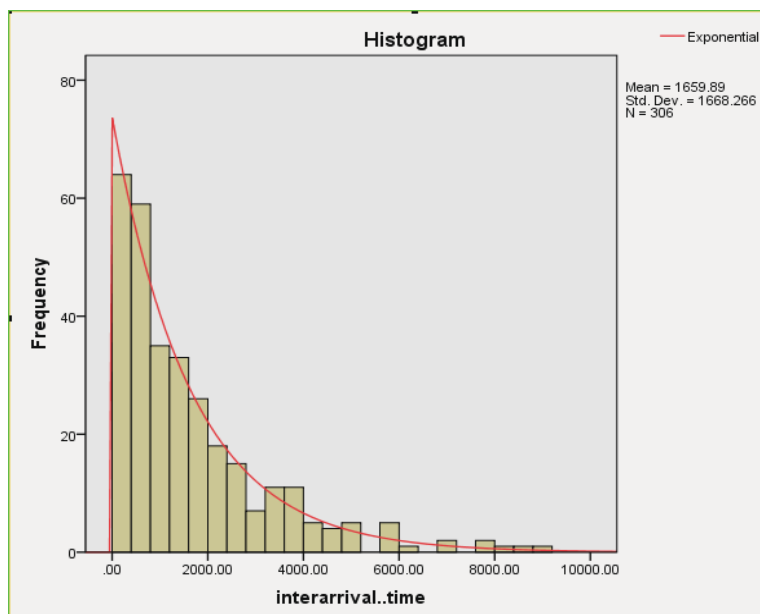
جدول (۱) خلاصه آمار توصیفی زمان بین دو ورود متوالی کشتی ها بر حسب ساعت

آماره ها	
۲۷/۸۱	میانگین
۱۸/۸۳	میانه
۴/۷۵	مد
۲۷/۸۷	انحراف معیار
۷۷۷	واریانس
۱/۷۵	انحراف نمودار (چولگی)
۰/۲۳	مینیمم
۱۴۸/۳۶	ماکزیمم

اطلاعات اولیه بدست آمده، نشان دهنده این امر می باشد که میانگین زمان های بین دو ورود متوالی برابر ۲۷/۸۱ ساعت می باشد و همچنین انحراف معیار آن ۲۷/۸۷ ساعت می باشد که میانگین و انحراف معیار نسبتاً مساوی می باشند. یکی از شرط های توزیع نمایی برابری میانگین و انحراف معیار داده ها می باشد، همچنین داده ها دارای چولگی (انحراف نمودار) ۱/۷۵ ساعت می باشند که نشان دهنده این امر است که داده ها از توزیع نرمال برخوردار نمی باشند. بنابراین، براساس نتایج بدست آمده یعنی نزدیکی میانگین و انحراف معیار و همچنین چولگی داده های زمان بین دو ورود متوالی، می توان حدس زد که داده ها دارای توزیع نمایی می باشند. بنابراین، براساس نتایج بدست آمده یعنی نزدیکی میانگین و انحراف معیار و همچنین چولگی داده های زمان بین دو ورود متوالی، می توان حدس زد که داده ها دارای توزیع نمایی می باشند.

در ادامه نیز، زمان بین ورودهای متوالی به ۴۰ دسته تقسیم شده و فراوانی های مربوط به هر کدام از این ۴۰ دسته ها را با استفاده از نرم افزار Excel2010 بدست آمد و نمودار مستطیلی یا هیستوگرام مربوط به این داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS19.0 رسم شد. با رسم نمودار معلوم شد که شکل اولیه این داده ها از توزیع نمایی بر خوردار است و دارای روندی نزولی بوده و چوله به راست است.





نمودار ۱ توزیع فراوانی زمان بین دو ورود متوالی کشتی ها

### مرحله اولیّه، محاسبه نرخ ورود شناورها:

با توجه به رابطه (۶) و داده های موجود، میانگین زمان بین دو شناورها محاسبه گردید که برابر با ۲۷/۸۱ است که این مقدار برحسب ساعت مورد محاسبه قرار گرفته است. در ادامه، نرخ ورود شناورها به پایانه فله خشک بندر امام خمینی بر اساس این میانگین به صورت زیر محاسبه گردید:

$$\mu = 27/81$$

$$\rho = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{27/81} = 0.03595$$

با توجه به محاسبه بالا، نرخ ورود شناورها برابر با ۰/۰۳۵۹۵ است که تقریباً برابر با ۰/۰۴ است. این مقدار بر حسب ساعت به دست آمده است.

### مرحله اولیّه، آمار توصیفی زمان ارائه سرویس دهی شناورها:

برای به دست آوردن زمان سرویس دهی شناورها بدین صورت عمل می شود که ابتدا ستون مربوط به زمان سرویس دهی به شناورها از فایل ship list جدا شده و در یک فایل اکسل به صورت جداگانه مورد بررسی قرار می گیرد. سپس بر اساس روابط (۱) تا (۵)، آمار توصیفی مربوط به زمان ارائه سرویس دهی به شناورها مورد محاسبه قرار می گیرد.

همچنین اطلاعات مربوط به آمار توصیفی این داده ها با استفاده از نرم افزار Excel 2010 بدست آمدند که خلاصه آن ها در جدول (۲) آورده شده است.

برای تعیین زمان سرویس‌دهی کشتی‌ها، فرض اصلی اینست که این روند دارای توزیع نمایی یا ارلنگ باشد (Guan, ۲۰۰۹).

جدول (۲) خلاصه آمار توصیفی زمان ارائه سرویس

آماره‌ها	
۱۵۴/۵۳	میانگین
۱۳۵/۸۵	میانه
۳۵۵/۵	مد
۱۲۴/۴۳	انحراف معیار
۱۵۴۸۴/۴۵	واریانس
۲/۳۷	انحراف نمودار (چولگی)
۸/۴	مینیمم
۱۰۳۸/۷۵	ماکزیمم

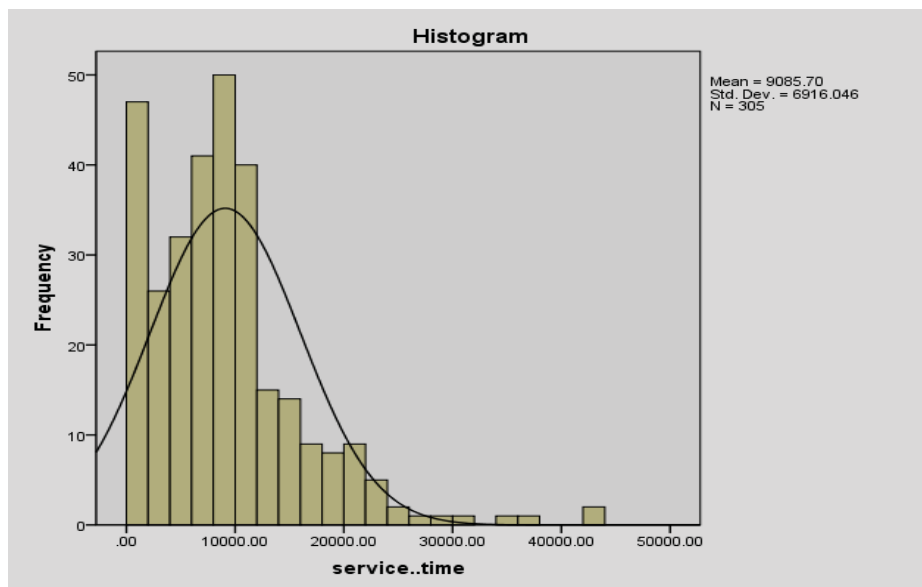
### مرحله اولیّه، محاسبه نرخ سرویس‌دهی شناورها:

نرخ سرویس‌دهی شناورها بر اساس رابطه (۷) به صورت ذیل مورد محاسبه قرار می‌گیرد:  
 بعد از محاسبه مشخص شد که میانگین زمان سرویس‌دهی به شناورها برابر با ۱۵۴/۵۳ است که این مقدار بر حسب ساعت مورد محاسبه قرار گرفته است. بر اساس این میانگین، نرخ سرویس‌دهی شناورها که معکوس میانگین زمان سرویس‌دهی به شناورها است به صورت زیر محاسبه شد:

$$\mu = 154/53$$

$$\rho = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{154/53} = 0/0063$$

با توجه به جدول (۲) ملاحظه می شود که میانگین زمان سرویس دهی به کشتی ها برابر با ۱۵۴/۵۳ است و انحراف معیار آن مساوی ۱۲۴/۷۱ است، همچنین این داده ها دارای چولگی (انحراف نمودار) ۲/۳۷ می باشد که نشان دهنده این امر است که برآزش آن بصورت غیر نرمال است. در ادامه نیز این داده ها به ۳۵ دسته مجزا تقسیم شده و فراوانی هر کدام از این دسته ها با استفاده از نرم افزار Excel 2010 بدست آمد. با رسم هیستوگرام مربوط به این فراوانی ها فرض تبعیت زمان سرویس دهی از توزیع ارلنگمورد تردید واقع می شود، زیرا شکل اولیّه نمودار متفاوت از شکل نمودار ارلنگ است. نمودار (۲) نشان دهنده شکل اولیّه فرایند سرویس دهی کشتی ها در پایانه فله خشک بندر امام خمینی است. لذا آخرین راه اثبات ارلنگ بودن فرایند سرویس دهی کشتی ها انجام آزمون نیکویی برآزش داده های موردنظر است.



نمودار ۲ فراوانی زمان ارائه سرویس به کشتی ها

### آزمون نیکویی برآزش خی دو برای اثبات مدل پیشنهادی

آزمون نیکویی برآزش، برای تعیین توزیع آماری احتمالی فرایندهای ورودی و زمان سرویس دهی بکار می رود. یکی از پرکاربردترین آزمون ها برای انجام این کار آزمون نیکویی برآزش کای مربع است (Kou, ۲۰۰۹, Guan, and 2006). لذا برای کنترل میزان همخوانی توزیع داده های مشاهده شده در واقعیت با توزیع های مورد انتظار فرضیات تئوری صف از آزمون نیکویی کای مربع استفاده گردیده است.

## نتایج حاصل از آزمون‌های نیکویی برازش

جدول ۳. نتایج حاصل از آزمون نیکویی برازش داده‌ها

آماره آزمون	زمان بین دو ورود متوالی (توزیع نمایی)	زمان سرویس دهی (توزیع ارلنگ)
خی دو مشاهده شده	۲۸/۳۱	۱۳/۳۶
خی دو آلفا	۳۳/۳۵	۱۱/۴۹
ضریب اطمینان	۰/۱۳	۰/۰۰۳

بنابراین، با توجه به اینکه مقدار خی دو ملاحظه شده برای زمان بین دو ورود متوالی کشتی‌ها به پایانه کمتر از مقدار خی دو آلفا است ( $28/31 > 33/35$ ) و همچنین مقدار احتمال حدود ۱۳ درصد است، بر همین اساس می‌توان نتیجه گرفت که زمان بین دو ورود متوالی کشتی‌ها به پایانه فله خشک بندر امام خمینی از توزیع آماری احتمالی نمایی تبعیت می‌کند.

اما، شروط فوق برای زمان سرویس‌دهی کشتی‌ها در پایانه فله خشک بندر امام خمینی برقرار نیست. بدین معنی که خی دو مشاهده شده برای زمان سرویس‌دهی کشتی‌ها بزرگتر از خی دو آلفا زمان سرویس‌دهی است ( $13/36 \leq 11/49$ ) و از طرفی درصد احتمال نیز در سطح حدود ۳ درصد قرار دارد. که درصد قابل قبولی نیست. از لحاظ آماری، مقادیر احتمال بین ۵ تا ۹۵ درصد نشان‌دهنده برازش مناسب داده‌های مورد نظر است.

## مرحله ثانویه، حل مسئله با مدل M/G/S

محاسبه معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم صف شناورها در پایانه فله خشک بندر امام خمینی بعد از تشریح سیستم صف شناورها در پایانه فله خشک بندر امام خمینی، روش‌ها و مراجع جمع آوری اطلاعات توضیح داده شد و در ادامه نمودار مستطیلی مربوط به داده‌های زمان بین دو ورود متوالی و زمان سرویس‌دهی شناورها رسم گردید و اطلاعات مربوط به آمار توصیفی هر دو دسته از داده‌ها استخراج گردید. با استخراج اطلاعات توصیفی مشخص گردید که میانگین زمان بین دو ورود متوالی برابر  $27/87$  شناور است و میانگین سرویس‌دهی نیز برابر  $154/53$  محاسبه شده است. اما، با توجه به داده‌های مستخرج از

فایل های موردنظر مشخص گردید که در پایانه فله خشک بندر امام خمینی ۱۰ پست اسکله به کار تخلیه و بارگیری کشتی های فله خشک اختصاص داده شده است.

دو پارامتر مهم مورد استفاده در تئوری صف یعنی نرخ ورود شناورها و نرخ سرویس دهی برحسب این دو میانگین به ترتیب برابر ۰/۰۳۶ و ۰/۰۶۵ محاسبه گردیدند. بنابراین براساس این دو پارامتر و مدل M/G/10 و همچنین بر اساس روابط (۹) تا (۱۵) با استفاده از نرم افزار winQSB2.0 پارامترهای مختلف ارزیابی عملکرد سیستم صف کشتی ها در پایانه فله خشک بندر امام خمینی به صورت زیر محاسبه گردید:

جدول ۴. محاسبه معیارهای مختلف ارزیابی عملکرد سیستم

مقدار	معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم صف کشتی ها
۵۵/۵۶ درصد	ضریب بهره‌وری سیستم (ρ)
۴۴/۴۴ درصد	ضریب بیکاری سیستم (ρ)
۵/۶۲ کشتی	میانگین تعداد شناورها موجود در پایانه فله خشک (L)
۰/۰۶ کشتی	میانگین تعداد شناورها موجود در صف (Lq)
۱۵۶/۴۴ ساعت	میانگین زمان انتظار شناورها در پایانه فله خشک بندر امام خمینی (W)
۱/۹۰۶ ساعت	میانگین زمان انتظار شناورها در صف (Wq)

همانطور که ملاحظه می‌شود معیارهای مختلف ارزیابی عملکرد سیستم صف شناورها در بندر امام خمینی در جدول (۴) محاسبه شد. بنابر محاسبات ضریب بهره‌وری سیستم مورد نظر حدود ۵۵ درصد است. بدین معنا که ۵۵ درصد احتمال دارد که کشتی ورودی به پایانه با یک سیستم مشغول به کار مواجه گردد و حدود ۴۴ درصد احتمال دارد که کشتی ورودی به پایانه با یک سیستم بیکار مواجه گشته و بدون هیچگونه معطلی بتواند وارد اسکله‌های پایانه فله خشک بندر امام خمینی شده و بلافاصله عملیات تخلیه و بارگیری آغاز گردد.

در ادامه، سیستم مورد نظر تحلیل حساسیت خواهد گردید و عکس العمل سیستم در مقابل تغییرات مربوط به افزایش تعداد اسکله‌ها سنجیده خواهد شد.

### تحلیل و راهکارهای لازم

بعد از محاسبه معیارهای مختلف ارزیابی عملکرد سیستم صف شناورها در پایانه کالاهای فله خشک بندر امام خمینی، باید اقداماتی اتخاذ گردد تا میانگین زمان انتظار کشتی‌ها و همچنین تعداد کشتی‌های موجود

در سیستم و صف حتی الامکان به کمترین مقدار خود برسند. اقدام مهمی که در این راستا می‌تواند انجام پذیرد به صورت ذیل می‌باشد:

- افزایش تعداد اسکله‌های موجود در پایانه فله خشک بندر امام خمینی

### تحلیل حساسیت افزایش تعداد اسکله

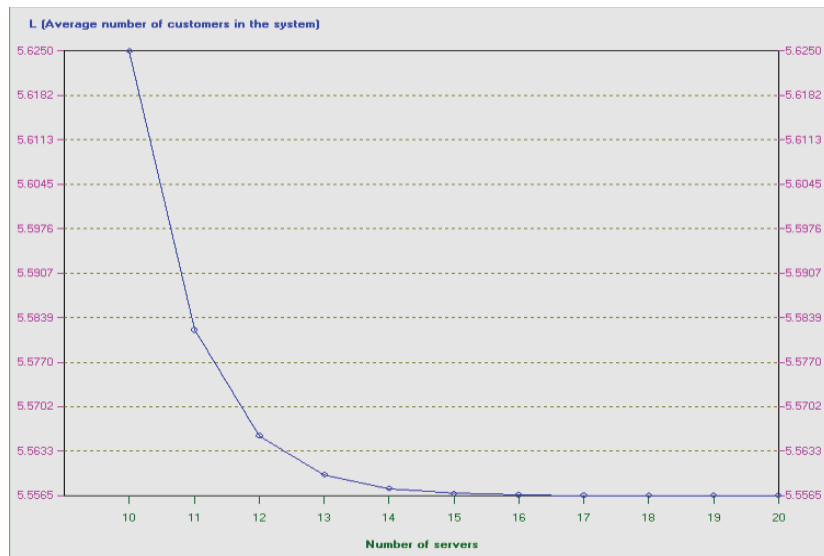
یکی از اقدامات موثر در راستای کاهش معیارهای مختلف ارزیابی عملکرد سیستم صف انتظار کشتی‌ها در پایانه فله خشک بندر امام خمینی افزایش تعداد پست اسکله‌های موجود در این پایانه است. بنابراین تعداد اسکله‌های موجود در این بندر را از مقدار موجود یعنی ۱۰ پست اسکله تا ۲۰ پست افزایش داده و سیستم مورد نظر برحسب این تغییرات و با استفاده از نرم افزار winQSB2.0 تحلیل حساسیت خواهد شد و جداول و نمودارهای مختلف مربوط به ارزیابی عملکرد سیستم مورد نظر نیز با استفاده از این نرم افزار اخذ و رسم خواهند شد. جدول (۵) نشان دهنده نتایج حاصل از تحلیل حساسیت سیستم مورد نظر می‌باشد.

جدول (۵) تحلیل حساسیت سیستم برحسب افزایش تعداد پست اسکله‌ها

تعداد پست اسکله‌ها	$\rho$	L	$L_q$	W	$W_q$
10	۰/۵۵۵۶	۵/۶۲۵۰	۰/۰۶۸۵	۱۵۶/۴۴	۱/۹۰
11	۰/۵۰۵۱	۵/۵۸۲۰	۰/۰۲۵۶	۱۵۵/۲۴	۰/۷۱
12	۰/۴۶۳۰	۵/۵۶۵۷	۰/۰۰۹۲	۱۵۴/۷۹	۰/۲۵
13	۰/۴۲۷۴	۵/۵۵۹۷	۰/۰۰۳۲	۱۵۴/۶۲	۰/۰۸
14	۰/۳۹۶۹	۵/۵۵۷۵	۰/۰۰۱۱	۱۵۴/۵۶	۰/۰۲
15	۰/۳۷۰۴	۵/۵۵۶۸	۰/۰۰۰۳	۱۵۴/۵۴	۰/۰۰۹
16	۰/۳۴۷۳	۵/۵۵۶۶	۰/۰۰۰۱	۱۵۴/۵۳۶۹	۰/۰۰۲
17	۰/۳۲۶۹	۵/۵۵۶۵	۰	۱۵۴/۵۳۴۹	۰/۰۰۰۸
18	۰/۳۰۸۷	۵/۵۵۶۵	۰	۱۵۴/۵۳۴۳	۰/۰۰۰۲
19	۰/۲۹۲۴	۵/۵۵۶۵	۰	۱۵۴/۵۳۴۱	۰/۰۰۰۱
20	۰/۲۷۷۸	۵/۵۵۶۵	۰	۱۵۴/۵۳۴۱	۰

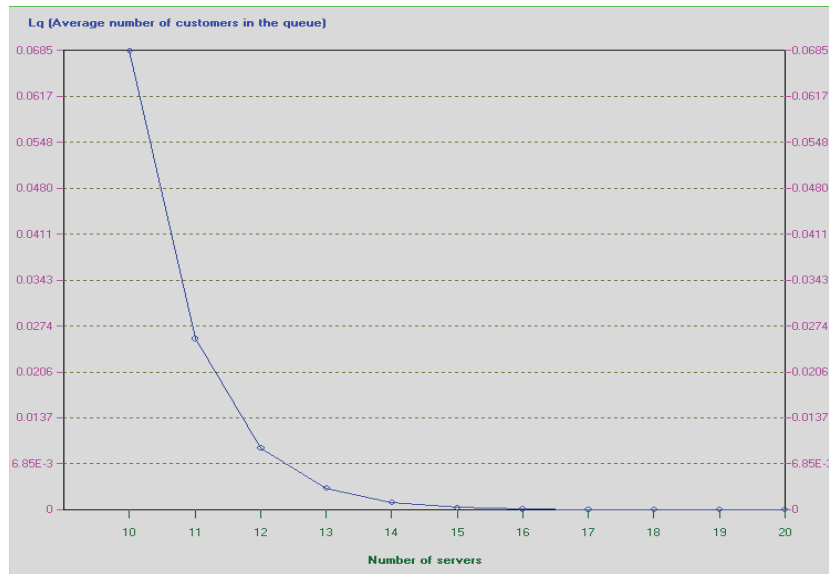
با توجه به نتایج حاصل از تحلیل حساسیت سیستم مورد نظر برحسب افزایش تعداد سرورها می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش هرچه بیشتر تعداد اسکله‌های موجود در پایانه فله خشک بندر امام خمینی کلیه پارامترهای ارزیابی عملکرد سیستم کاهش خواهند یافت. به طوری که با افزایش این اسکله‌ها (سرورها) از

۱۰ به ۱۶ اسکله تعداد کشتی های موجود در صف پایانه روندی نزولی خواهند داشت و این کاهش تا ۱۶ پست اسکله ادامه داشته تا اینکه بعد از این مقدار افزایش تعداد پست اسکله ها هیچگونه ثابت و بدون تغییری شود و در مقدار ۵/۵۵۶۵ کشتی که نقطه عطف این مسئله است ثابت خواهد ماند. نمودار ۱-۳ نشان دهنده تغییرات پارامترهای ارزیابی عملکرد سیستم مورد نظر در اثر تغییرات در تعداد سرورها است.



نمودار ۱-۳. تغییرات تعداد کشتی های موجود در پایانه در اثر افزایش تعداد اسکله ها

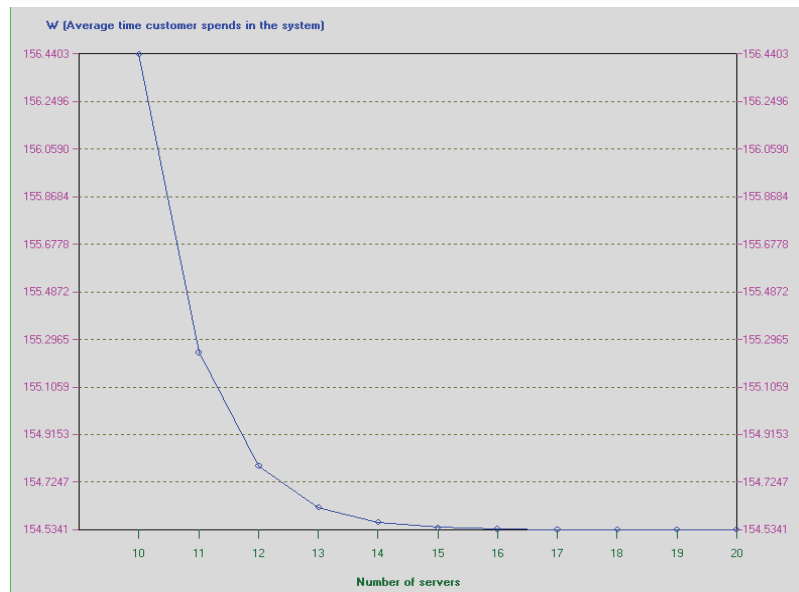
بنابر این، تعداد کشتی های موجود در صف نیز با افزایش تعداد اسکله ها کاهش خواهند یافت. با توجه به نمودار (۴) با افزایش هر چه بیشتر این اسکله ها تعداد کشتی های در انتظار سرویس دهی کاهش بیشتری خواهند یافت تا اینکه با افزایش تعداد اسکله ها به بیشتر از ۱۶ پست اسکله، تعداد کشتی های موجود در صف به صفر خواهد رسید و تغییرات بعدی هیچگونه تغییری در سیستم مورد نظر ایجاد نخواهد کرد.



نمودار ۴ کاهش تعداد کشتی‌های موجود در صف انتظار بر اثر افزایش تعداد اسکله‌ها

پارامتر بعدی آزمایش حساسیت زمان انتظار کشتی‌ها در پایانه است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش تعداد پست اسکله‌ها زمان انتظار کشتی‌ها کاهش خواهد یافت و در اثر آن، کشتی‌های موجود در صف انتظار و کشتی‌های در حال دریافت سرویس تخلیه و بارگیری زمان کمتری را در پایانه سپری خواهند کرد. اما لازم به ذکر است که با افزایش تعداد پست اسکله‌های پایانه فله خشک بندر امام خمینی کاهش زمان انتظار کشتی‌ها در این پایانه با آهنگ کندتری ادامه می‌یابد. این بدین معنا است که با افزایش تعداد اسکله‌ها به ۱۱، ۱۲ و ۱۳ پست زمان انتظار کشتی‌ها در پایانه نیز به ازای هر یک از این تغییرات یک ساعت کاهش خواهد یافت. اما با افزایش اسکله‌ها به بیش از ۱۳ پست اسکله، این تغییرات نسبتاً ثابت خواهد بود. نمودار (۵) نشان دهنده کاهش زمان انتظار کشتی‌ها در پایانه بر اثر افزایش تعداد پست اسکله‌ها است.

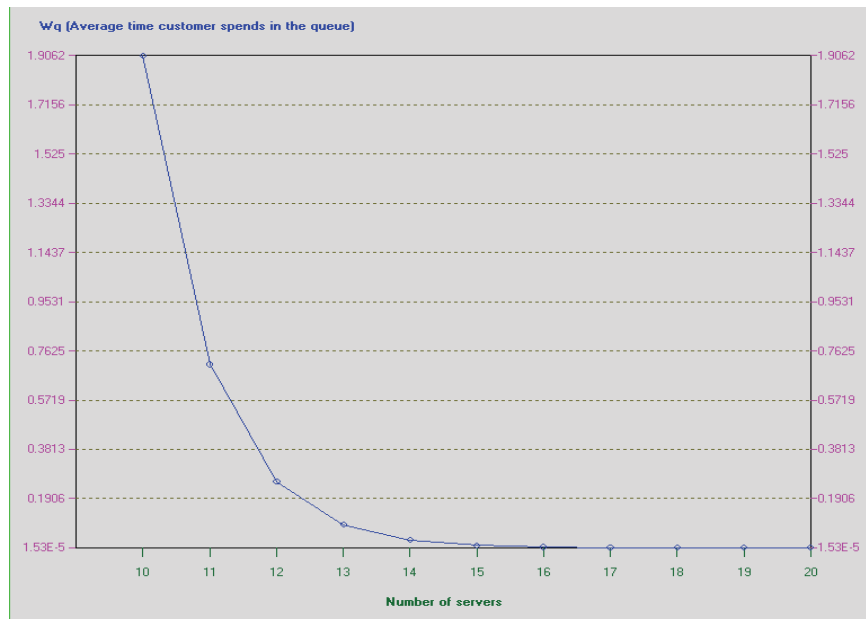




#### نمودار ۵. کاهش زمان انتظار کشتی ها در پایانه بر اثر افزایش تعداد اسکله ها

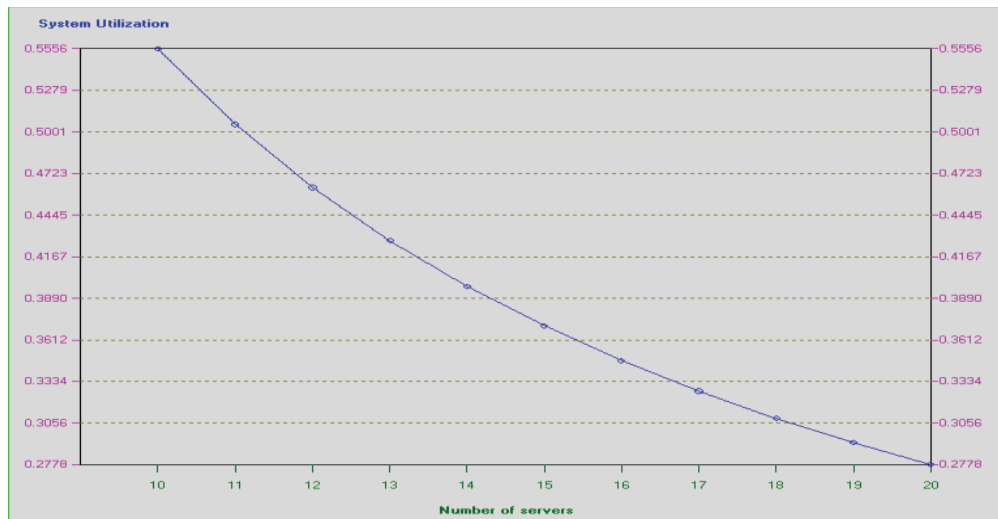
زمان انتظار شناورها در صف نیز با افزایش تعداد پست اسکله های موجود در پایانه فله خشک بندر امام خمینی کاهش خواهد یافت. همانگونه که در نمودار (۶) ملاحظه می شود با افزایش تعداد اسکله ها زمان انتظار کشتی ها در صف نیز کاهش خواهد یافت و با افزایش هر چه بیشتر تعداد اسکله کاهش زمان انتظار کشتی ها در صف انتظار چشمگیرتر خواهد بود.

بطوریکه با افزایش تعداد اسکله ها به ۱۱ پست، زمان انتظار کشتی ها در صف بیش از یک ساعت کاهش خواهد یافت و با افزایش اسکله ها به ۱۲ و ۱۳ پست اسکله، زمان انتظار نرخ کاهش خود را حفظ خواهد کرد. اما با افزایش اسکله ها به بیش از ۱۳ پست اسکله تغییرات حاصل شده بسیار ناچیزتر از تغییرات قبلی خواهد بود.



نمودار ۶. کاهش زمان انتظار در صف بر اثر افزایش تعداد اسکله‌ها

یکی از پارامترهای مهم ارزیابی عملکرد سیستم‌های صف ضریب بهره‌وری سیستم است که این پارامتر نیز با افزایش تعداد اسکله‌ها کاهش خواهد یافت و هر چه تعداد اسکله‌ها افزایش یابد بهره‌وری پایانه کمتر خواهد بود و در نتیجه اسکله‌ها زمان بیشتری را بدون کارکرد<sup>۵</sup> سپری خواهند کرد.



نمودار ۷. تغییرات ضریب بهره‌وری سیستم بر اثر افزایش تعداد اسکله‌ها

نتیجه گیری:

<sup>۵</sup>Idle

با توجه به اینکه بندر امام خمینی یکی از بزرگترین بنادر حمل کالاهای فله خشک در ایران است، هدف تحقیق حاضر بررسی زمینه‌های کاهش ترافیک کشتی‌ها در پایانه کالاهای فله خشک بندر امام خمینی است. از طرفی بدلیل این که تئوری صف یکی از بهترین روش‌ها برای تحلیل ترافیک و صف است، برای انجام این تحقیق از این روش استفاده گردید.

با توجه به محاسبات انجام شده و تحلیل داده‌های حاصل از این مطالعات، مشخص گردید که:

- زمان بین ورود متوالی کشتی‌ها از توزیع آماری نمایی تبعیت می‌کند.
- زمان سرویس‌دهی از توزیع عمومی تبعیت می‌کند.
- هیچگونه محدودیتی برای ظرفیت سیستم و ظرفیت صف وجود ندارد.
- این سیستم از نظام خدمات‌رسانی FIFO پیروی می‌کند.

بنابراین با توجه به موارد بالا، بالاخص با توجه به اینکه زمان بین دو ورود متوالی کشتی‌ها از توزیع نمایی پیروی می‌کند ولی زمان سرویس‌دهی از توزیع عمومی تبعیت می‌کند، در نتیجه مدل M/G/S برای تحلیل و حل مسئله سیستم ترافیک کشتی‌ها در این بندر در نظر گرفته شد. از طرفی با توجه به اینکه تعداد ۱۰ پست اسکله برای پایانه فله خشک بندر امام خمینی (ره) وجود داشت، مدل در نظر گرفته شده چند سرور بوده و در نتیجه مدل M/G/10 مورد استفاده قرار گرفت.

همچنین، با تحلیل داده‌ها و اطلاعات حاصل شده، نرخ ورود کشتی‌ها و نرخ ارائه سرویس به ترتیب ۰/۰۳۵۹۵ و ۰/۰۱ کشتی در ساعت تعیین شد. در ادامه با قرار دادن این مقادیر در فرمول‌های مربوط به تئوری صف مشخص شد که این سیستم از نرخ اشغال (حدود ۵۶٪) برخوردار است. بنابراین با توجه به این مسئله به راحتی می‌توان دریافت که یکی از بهترین راهکارهای کاهش ترافیک در پایانه فله خشک بندر امام خمینی (ره)، افزایش تعداد اسکله‌ها (تعداد سرورها) است. در نتیجه با افزایش تعداد سرورها به ۱۳ اسکله نتایج زیر برای این سیستم حاصل گردید:

- طول صف از ۰/۰۶۸۵ کشتی در ساعت به ۰/۰۰۳۲ کشتی در ساعت می‌رسد.
- تعداد کشتی‌ها در سیستم نیز از ۵/۶۲۵۰ کشتی به ۵/۵۵۹۷ کشتی کاهش خواهد یافت.
- زمان حضور یک کشتی در صف با افزایش تعداد اسکله‌ها به ۱۳ از ۱/۹۰ ساعت به ۰/۰۸ ساعت کاهش می‌یابد.
- زمان حضور هر کشتی در سیستم نیز با افزایش تعداد اسکله‌ها به ۱۳ عدد از ۱۵۶/۴۴ به ۱۵۴/۶۲ ساعت کاهش خواهد یافت.

- با افزایش هر چه بیشتر تعداد اسکله‌ها، ضریب اشتغال اسکله‌ها کاهش یافته و زمان بیکاری آنها افزایش خواهد یافت.
- با افزایش تعداد اسکله‌ها به بیش از ۱۳ پست، تغییرات ناچیز خواهد بود

#### منابع:

- آذر، عادل و مومنی، منصور، (۱۳۸۵). آمار و کاربرد آن در مدیریت، انتشارات سمت، تهران.
- امامی آرندی، مجتبی (۱۳۷۶). بررسی سیستم صف انتظار نوبت کشتی ها در ترمینال غلات بندر شهید رجایی (مطالعه موردی). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- حق شناس، هادی و شریعت، جمشید (۱۳۷۷). بررسی چگونگی کاهش متوسط سرویس‌دهیدر بندر نوشهر، اداره کل بندر و کشتیرانی استان مازندران
- رئیزی، فاروق (۱۳۹۱) کاهش صف انتظار کامیون ها در اسکله- کالاهای فله خشک بندر امام خمینی با استفاده از تئوری صف، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر.
- ملکی، مصطفی، قربانی، عسگرو فرخزاد، علی (۱۳۷۶). بهبود روش به منظور کاهش زمان ارائه سرویس‌دهی و توقف کشتی در اسکله در بندر انزلی، اداره کل بندر و کشتیرانی استان گیلان.

ElNaggar, and M., E., (2010) Application of Queuing Theory to the Container Terminal at Alexandra Port, Journal of Soil Science and Environment Management, Vol. 1 (4), pp. 77-85, June, 2010.

Kou, T.C., W., Ch., Hung and S., C., Wu (2006) A Case of Inter-Arrival Time Distributions of Container Ships, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 14, No. 3, pp. 155-164.

Qian Guan, w. (2009) Analysis of Marine Container terminal Gate Congestion, Truck Waiting Cost, and System Optimization, Phd Thesis, New Jersey Faculty of Technology, USA., pp. 127 - 130

Willig, A. (1999) A Short Introduction to Queueing Theory, Technical University Berlin, Telecommunication Networks Group, July 21, 1999, Sekr. FT 5-2, Einsteinufer 25, 10587 Berlin, pp. 3 -5