J. Oceanography (JOC). Volume14 (54):30-47, summer2023

Journal of Oceanography
Homepage: joc.inio.ac.ir

ORIGINAL RESEARCH PAPER (Engineering and Science)

Analyzing and surveying the indicators of unloading and loading container operations of Shahid Rajaei port during sanctions and post sanctions using simulation in ARENA software

iraj faghiri [1] ,mohsen Hallaj [2*] ,mohammad amin Ranjbar [3]

1. Ph.D. in environment, Islamic Azad University, Qeshm Branch, Qeshm, Iran

2. M.sc. in Maritime Transportation Engineering, Amirkabir University of Technology, Bandarabbass, Iran

3. M.sc. in Business Management, Islamic Azad University, Qeshm Branch, Qeshm, Iran

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 2022/12/13
Revised: 2023/09/10
Accepted: 2023/09/6

Keywords:
Indicators of container operations
Shahid Rajaei port
Simulation
ARENA

*Corresponding author:
✉ *mohsen_hj@yahoo.com*

orcid: 0000-0001-9702-6853

doi: **10.52547/joc.14.54.3**

dor:20,1001,1,15621057.1402,14,54,3,9

ABSTRACT

Background and Objectives: The Ports have dynamic systems with random and complex patterns, which consist of several entities that have complex relationships. The complexity of ports, the need to serve modern ships from the port, and the high costs of the industry make necessary the need for a flexible and dynamic tool to manage ports in assessing future needs, determining appropriate indicators for performance evaluation, and the possibility of comparing them with other standards. The productivity of ports is an important condition for survival in the global competition of shipping trade as creating infrastructures, equipment and developing facilities in ports are very expensive to implement and purchase, as their inefficient use causes loss of capital and increase in operating costs of ports. Therefore, goals such as having a container terminal with high operational capacity, high productivity rate of equipment, reducing unloading and loading times, reducing the waiting time of ships, reducing traffic and congestion of ships and trucks in the container terminal, as well as reducing investment and operating costs are very important. The purpose of this research is to provide a dynamic model to evaluate the performance of Shahid Rajaei port container terminal in such a way that it is possible to estimate the key indicators of container operations parametrically in any time frame and make the necessary decisions. In this article, two scenarios naming 'during sanctions' (current situation) and 'post sanctions' are compared and analyzed using the mentioned model.

Methods: The present research is practical in terms of purpose and descriptive in terms of data collection method. In this research, loading and unloading operations at the quayside in container terminals of Shahid Rajaei port, including sea and port sections, have been simulated using ARENA software. For the design of the model and its validation, information of the shipping vessels entering Shahid Rajaei port during the 2nd quarter of 2020 is used.

Findings: The development of two scenarios of the current situation and post sanction situation were applied. In the productivity section of quays and gantry cranes, the results showed that in the current situation, the average occupancy rate of the high-traffic quays on the eastern and front side and their gantry cranes were 27% and 34% respectively with the change in the rate of ship arrivals and the application of conditions before the sanctions (as a post sanction situation), the average occupancy rate of the quays and gantry cranes increased and reached about 39 and 50 percent, respectively. Regarding the waiting time of ships, it was also observed that in the second scenario (situation before the imposition of sanctions) with the increase in the number of incoming ships in large and medium sizes, the waiting time of all ships, especially in medium and very small groups, increased significantly.

Conclusion: Considering the desirability of the indicators of the occupancy rate of the quays and the ratio of waiting time to service time in both scenarios, there is no need to develop resources in any of the scenarios.

NUMBER OF TABLES	NUMBER OF FIGURES	NUMBER OF REFERENCES
17	3	20

مقالهٔ پژوهشی (مهندسی و علوم پایه)

تحلیل و بررسی شاخص‌های عملیات تخلیه و بارگیری کانتینری بندر شهید رجایی در شرایط تحریم و پساتحریم، با استفاده از شبیه‌سازی در نرم‌افزار ARENA

ایرج فقیری[۱]، محسن حلاج[۲*]، محمد امین رنجبر[۳]

۱. دانش‌آموختهٔ دکتری محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قشم، قشم، ایران

۲. دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد مهندسی حمل‌ونقل دریایی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، بندرعباس، ایران

۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت بازرگانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قشم، قشم، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۲۲
تاریخ بازبینی: ۱۴۰۲/۶/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۱۵

واژگان کلیدی:
شاخص‌های عملیات کانتینری
بندر شهید رجایی
شبیه‌سازی
ARENA

*نویسندهٔ مسئول
mohsen_hj@yahoo.com

orcid: 0000-0001-9702-6853

doi: 10.52547/joc.14.54.3
dor:20,1001,1,15621057.1402,14,54,3,9

چکیده

پیشینه و اهداف: بندر دارای سیستمی پویا با الگوی تصادفی و پیچیده است که از بخش‌هایی متعدد که دارای روابط پیچیده‌اند تشکیل شده است. پیچیدگی بنادر نیاز به خدمت‌دهی بندر به کشتی‌های مدرن دارد و هزینه‌های بالای این صنعت نیاز به ابزاری انعطاف‌پذیر و پویا برای مدیریت بنادر در ارزیابی نیازهای آینده، تعیین شاخص‌های مناسب ارزیابی عملکرد و امکان مقایسهٔ آنها را با استانداردهای دیگر بنادر دنیا ضروری می‌سازد. بهره‌وری بنادر شرط مهم زنده ماندن در رقابت جهانی تجارت حمل‌ونقل است. ایجاد زیرساخت‌ها و تجهیزات و توسعهٔ امکانات در بنادر برای اجرا و خرید بسیار هزینه‌بر است. ازاین‌رو، استفادهٔ ناکارا از آنها باعث ازدست‌دادن سرمایه و افزایش هزینه‌های عملیاتی بنادر می‌شود. بنابراین، اهدافی، مانند داشتن ترمینال کانتینری با توان عملیاتی بالا، نرخ بهره‌وری بالای تجهیزات، کاهش زمان‌های تخلیه و بارگیری، کاهش زمان معطلی کشتی‌ها، کاهش ترافیک و ازدحام کشتی و کامیون در ترمینال کانتینری و همچنین کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی، از اهمیتی بسزا برخوردارند. هدف از تحقیق حاضر طراحی مدلی پویا برای ارزیابی عملکرد ترمینال کانتینری بندر شهید رجایی است به‌گونه‌ای که بتوان، به‌صورت پارامتریک و در هر بازهٔ زمانی، شاخص‌های کلیدی عملیات کانتینری را برآورد و تصمیمات شایسته اتخاذ کرد. در این مقاله، با استفاده از مدل مذکور، دو سناریوی شرایط تحریم (فعلی) و پساتحریم مقایسه و تحلیل شده است.

روش‌ها: تحقیق حاضر، به‌لحاظ هدف کاربردی و روش جمع‌آوری داده‌ها، توصیفی از نوع پیمایشی است. در این تحقیق، عملیات تخلیه و بارگیری کنار اسکله در ترمینال‌های کانتینری بندر شهید رجایی، شامل بخش‌های دریایی و بندری، با استفاده از نرم‌افزار ARENA شبیه‌سازی شده است. برای طراحی مدل و اعتبارسنجی آن، از اطلاعات کشتی‌های کانینری ورودی به بندر شهید رجایی طی ۴ماههٔ اول سال ۱۳۹۹ استفاده شده است.

یافته‌ها: با توجه به تدوین دو سناریوی وضعیت فعلی و وضعیت پساتحریم، در بخش میزان بهره‌وری اسکله‌ها و گنتری‌کرین‌ها، نتایج نشان داد که، در وضعیت فعلی، متوسط ضریب اشغال اسکله‌های پُرترافیک یال شرقی و پیشانی و گنتری‌کرین‌های آنها، به‌ترتیب، ۲۷ و ۳۴ درصد بوده است که با تغییر آهنگ ورود کشتی و اِعمال شرایط قبل از تحریم‌ها (به‌مثابهٔ وضعیت پساتحریم) ضریب اشغال اسکله‌ها و گنتری‌کرین‌های مذکور افزایش یافته و، به‌ترتیب، به حدود ۳۹ و ۵۰ درصد رسیده است. درخصوص زمان انتظار کشتی‌ها نیز، مشاهده شد که، در سناریوی دوم (وضعیت قبل از اِعمال تحریم‌ها)، با افزایش تعداد کشتی‌های ورودی در سایزهای بزرگ و متوسط، زمان انتظار کلیهٔ کشتی‌ها، خصوصاً در گروه‌های متوسط و خیلی کوچک، افزایش چشمگیری داشته است.

نتیجه‌گیری: با توجه به مطلوبیت وضعیت شاخص‌های ضریب اشغال اسکله‌ها و نسبت زمان انتظار به زمان سرویس در هر دو سناریو، نیاز به توسعهٔ منابع در هیچ‌کدام از سناریوها دیده نمی‌شود.

مقدمه

حمل‌ونقل دریایی نقشی عمده در تجارت دریایی و رشد اقتصادی جهان دارد. بیش از ۹۰ درصد کالاها ازطریقِ حمل‌ونقل دریایی جابه‌جا می‌شوند که این میزان به‌طور تخمینی ۹۹ درصد اقتصاد جهان را در بر دارد[۱]. بنادر تجاری جهان در هر کشور به‌مثابهٔ هستهٔ فعالیت‌های تجاری هستند که از آن شهرها و سرمایه‌های ملی و مناطق داخلی پُررونق پدید می‌آیند. هم‌زمان با رشد و توسعهٔ سریع اقتصاد جهان، از سال ۱۹۶۰ میلادی، صنعت حمل‌ونقل جهان به سمت یک مدل حمل‌ونقل، به‌نام حمل‌ونقل کانتینری گسترش پیدا کرده است. حمل‌ونقل کانتینری دارای مزایای زیادی، ازجمله ایمنی کالا و تسریع در حمل، است و باعث بهبود کارایی و کیفیت صنعت حمل‌ونقل جهان شده است. محققان در همه جای دنیا به‌فکر توسعهٔ حمل‌ونقل کانتینری هستند و تمرکز بر تعداد کانتینر حمل‌شده در هر کشور از شاخص‌های مهم پیشرفت حمل‌ونقل آن کشور محسوب می‌شود[۲]. رشد فزایندهٔ حمل‌ونقل کانتینری دریایی و روند روبه‌رشد جایگاه کانتینر در حمل‌ونقل چندوَجهی میان دریا، ریل و خشکی باعث شده است مدیران بنادر کانتینری با چالش‌هایی، ازقبیل افزایش تقاضا، ایجاد فضای رقابتی، تصمیم‌گیری درخصوص سرمایه‌گذاری‌های جدید و بسط فعالیت‌ها، روبه‌رو شوند. پیش‌بینی تعداد کانتینر تخلیه و بارگیری‌شده و شاخص‌های مربوطه در اجرای سیاست‌های عملیاتی و توسعهٔ امکانات بندر نقشی حیاتی دارد. با توجه به گرایش روزافزون ناوگان حمل‌ونقل دریایی جهان به کانتینریزه کردن کالا به‌منظور برخورداری از مزایای آن و همچنین ضرورت برنامه‌ریزی کلان حمل‌ونقل به‌منظور ترانزیت کالای کشورهای آسیای میانه ازطریقِ ایران، برای پاسخ‌گویی به نیازهای واردات و صادرات کشور، این سؤال در ذهن ایجاد می‌شود که امکانات و تجهیزات بندری موجود تا چه میزان پاسخ‌گوی نیاز واردات و صادرات ازطریقِ حمل‌ونقل کانتینری خواهد بود. بهبود، توسعه، حصول کارایی و اثربخشی بالاتر در صنعت حمل‌ونقل دریایی نیازمند سرمایه‌گذاری‌هایی با مبالغ بسیار بالاست که، مطمئناً، اگر فرایند بهبود و توسعه در این مقیاس بدون مطالعات کافی صورت گیرد، این اقدامات مطلوب نخواهد بود. به‌عبارت دیگر، در فرایند انتخاب طرح‌های موجود برای توسعه و بهبود سیستم، عواملی دخیل هستند که تصمیم‌گیری درزمینهٔ انتخاب و اولویت این طرح‌ها تنها درصورتِ بررسی آنها از زوایای مختلف صورت‌پذیر است. درصورتِ نبودِ مطالعهٔ کافی در اولویت‌بندی طرح‌ها، چه‌بسا در فرایند تصمیم‌گیری و انتخاب طرح‌هایی انتخاب شوند که نتایج مطلوب و مورد انتظار را در پی نداشته یا دارای نقاط منفی کمتر و نقاط مثبت بیشتری باشند که، به‌دلیل نبودِ مطالعهٔ کافی، انتخاب نشوند[۳]. از سوی دیگر، حمل‌ونقل دریایی، به‌ویژه کانتینری، هزینه‌هایی برای صاحبان کالا و مالکان کشتی ایجاد می‌کند. این هزینه‌ها به‌وسیلهٔ صاحبان کشتی‌ها در بخش خصوصی و دولتی، چه به‌طور مستقیم و چه غیرمستقیم، برای فرستندگان یا دریافت‌کنندگان کالا بخش مهمی را در حمل‌ونقل دریایی تشکیل می دهند. بنابراین، بنادر با عملکرد بهینه و سریع خود در کاهش هزینه‌های دریایی و حمل‌ونقل نقشی بسزا بازی می‌کنند. کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل دریایی درنهایت به‌شکل کاهش قیمت صادرات و تشویق تجارت بین‌المللی تجلی خواهد یافت[۴]. در سازمان بنادر و دریانوردی کشور و شرکت‌های خصوصی فعال درزمینهٔ خدمات بندری نیز، سالانه مبالغ سنگینی صَرف خرید تسهیلات بندری می‌شود، بدون آنکه روش یا معیاری دقیق برای تصمیم‌گیری دربارهٔ خرید این‌گونه تسهیلات به‌کار رود[۵]. بر این اساس، در هر بندر، پیش‌بینی‌های ترافیکی، نوع و ابعاد شناورها و همچنین شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای منجر به طراحی تجهیزاتی، ازقبیل پهلوگیرها و پایانه‌های حمل‌ونقلی متناسب با عملکرد آنها، می‌شود[۶].

در تحقیق حاضر، به‌منظور ارزیابی عملکرد بندر و تحلیل شاخص‌های عملکردی، به‌دلیل تصادفی بودن وقوع پیشامدها، از یک سو، و حجم بالای محاسبات، از سوی دیگر، می‌بایست فرایند عملیات به‌کمک ابزارهایی شبیه‌سازی شود. در عملیات تخلیه و بارگیری کانتینری کنار اسکله و انتقال کانتینرها به محوطه‌های CY، تعدادی از شاخص‌های عملکردی عبارت‌اند از: متوسط زمان انتظار و عملیات کشتی‌ها، میزان بهره‌وری اسکله و تجهیزات (گنتری‌کرین‌ها)، تعداد کشتی‌های ورودی و میزان عملیات در بازه‌های زمانی. نتایج این محاسبات در محاسبهٔ تعداد بهینهٔ تجهیزات و نیروی انسانی مورد نیاز، نیازهای توسعه‌ای بندر، برنامه‌ریزی نت تجهیزات و... کاربرد دارد. نرم‌افزار منتخب برای این کار Arena است. بنابراین، درمجموع، هدف این تحقیق سنجش و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری منابع موجود (اسکله و تجهیزات) و شاخص‌های خدمت‌دهی در فرایند تخلیه و بارگیری کانتینری و، درنهایت، بررسی نیازهای توسعه‌ای بندر در دو سناریوی شرایط فعلی و شرایط پساتحریم است.

مبانی نظری و پیشینهٔ تحقیق

در این بخش، به‌ترتیب، به تشریح مبانی نظری و پیشینهٔ تحقیق پرداخته خواهد شد:

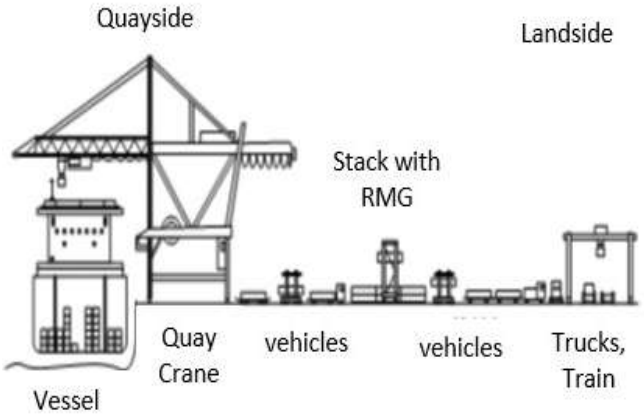
۱. مبانی نظری پژوهش

۱ـ۱ ترمینال کانتینری بندر شهید رجایی

مجتمع بندری شهید رجایی در استان هرمزگان و در ۲۳کیلومتری غرب بندرعباس واقع شده است. این مجتمع بندری در حدود ۲۵ کیلومتر مربع مساحت دارد که، از این مقدار، ۷/۵ کیلومتر مربع آن به زمین‌های پشتیبانی و استفادهٔ بخش خصوصی اختصاص دارد. بندر شهید رجایی به‌تنهایی تقریباً نیمی از مبادلات تجاری ایران را بر عهده دارد. این بندر از بنادر کانونی (Hub) در منطقه شناخته می‌شود که، به‌لحاظ قرارگیری در شرایط جغرافیایی منحصربه‌فرد، ایفاکنندهٔ نقش بندر ورودی به ایران و سایر کشورهای آسیای میانه است. بندر شهید رجایی با دراختیارداشتن بزرگ‌ترین و پیشرفته‌ترین ترمینال کانتینری ایران ظرفیت جابه‌جایی بیش از ۶/۴ میلیون تی‌ای‌یو را داراست. این بندر که بزرگ‌ترین ترمینال کانتینری کشور را در خود جای داده است و بیشترین حجم عملیات کانتینری کشور در آن تخلیه و بارگیری می‌شود نقشی حیاتی و بسزا در اقتصاد و تجارت کشور ایفا می‌کند. در ترمینال کانتینری بندر شهید رجایی، به کلیهٔ کشتی‌های لاینر و فیدر خدمات عرضه می‌شود و خطوط کشتی‌رانی متعددی به این بندر تردد می‌کنند[۷].

۱ـ۲ مروری بر فعالیت‌های ترمینال‌های کانتینری

عموماً، ترمینال‌های کانتینری سیستم‌های باز از جریان کالا با دو مجرای بیرونی در نظر گرفته می‌شوند. این دو مجرا عبارت‌اند از: طرف رو به دریا که برای تخلیه و بارگیری کشتی‌هاست و طرف ساحل که برای تخلیه و بارگیری کامیون‌ها و کشنده‌ها استفاده می‌شود. ترمینال کانتینری این دو مجرا را به هم متصل می‌کند و فضایی برای ذخیرهٔ کانتینرها در نظر می‌گیرد. کانتینرها یا روی هم انباشته و ذخیره می‌شوند یا روی کشنده‌ها قرار می‌گیرند و به بیرون از محوطهٔ ترمینال انتقال می‌یابند. شکل ۱ نمایی از یک ترمینال کانتینری را نشان می دهد.



شکل ۱ نمایی از یک ترمینال کانتینری.

در هر ترمینال کانتینری، تعدادی اسکله برای پهلوگیری شناورها وجود دارد. اسکله‌ها هزینهٔ ساخت بسیار بالایی دارند و، بنابراین، تعداد و طول آنها از مهم‌ترین تصمیمات استراتژیک در ترمینال است که باید در سطوح مدیریتی بالا بدان پرداخته شود. به‌طور واضح، بهره‌وری اسکله‌ها مستقیماً بر بهره‌وری کل ترمینال تأثیر می‌گذارد. بنابراین، تصمیمات سطوح عملیاتی مربوط به تخصیص اسکله برای کشتی‌ها حیاتی است.

وقتی یک کشتی برای عملیات تخلیه و بارگیری قصد ورود به بندر را دارد، ابتدا در لنگرگاه لنگر می‌اندازد. بعد از رسیدن پایلوت (راهنما)، کشتی به سمت اسکلهٔ مدنظر هدایت می‌شود. بعد از اینکه کشتی در اسکله پهلو گرفت، عملیات تخلیه و بارگیری اجرا می‌شود. جرثقیل‌های اسکله (گنتری‌کرین‌ها) تجهیزاتی استاندارد هستند که برای این منظور طراحی شده‌اند. جرثقیل‌های اسکله نوعی از جرثقیل‌های دروازه‌ای با اسکلت آهنی بزرگ هستند که در طول عرشه و جایی که کشتی‌ها پهلو گرفته‌اند قرار می‌گیرند. این تجهیزات معمولاً بر اساس ظرفیت بلند کردن و اندازهٔ کانتیرهایی تقسیم‌بندی می‌شوند که بارگیری و تخلیه می‌کنند. جرثقیل‌های مدرن امروزی قادرند دو کانتینر ۲۰فوتی را در یک زمان بالا ببرند و دارای حداقل ظرفیت ۴۰ تُن هستند. سرعت جابه‌جایی جرثقیل‌ها نیز دارای اهمیت است. جرثقیل‌های امروزی هنگام حمل بار دارای سرعت ۶۰ تا ۸۰ متر بر دقیقه هستند. برحسب پارامترهای داده‌شده، برای جابه‌جایی یک کانتینر ۴۰فوتی توسط اپراتوری حرفه‌ای، حدود ۹۰ ثانیه وقت نیاز است. جرثقیل‌های اسکله، بعد از اسکله‌ها، دومین تجهیز ازنظرِ هزینه در ترمینال‌ها هستند. یکی از پارامترهای کلیدی در این ترمینال‌ها تعداد جرثقیل‌های دردسترس است. با بهبود عملکرد جرثقیل‌ها، ترمینال‌ها می‌توانند مدت زمان

توقف کشتی‌ها را کاهش و بازدهی و بهره‌وری ترمینال را افزایش دهند[۸].

۳ـ۱ شاخص‌های ارزیابی ترمینال‌های کانتینری

در این بخش، دو دسته عمدهٔ از شاخص‌هایی را که عملکرد ترمینال‌های کانتینری را ارزیابی می‌کنند بررسی می‌کنیم. به‌طور مشخص، می‌توان گفت این شاخص‌ها ورودی سیستم‌های پشتیبان تصمیم را فراهم می‌آورند که به‌منظور بهینه‌سازی توابع هدف تعریف شده‌اند.

شاخص‌های خدمت‌دهی (Service Indicators): این شاخص‌ها سطح خدمت‌دهی فراهم‌شده برای مشتریان را محاسبه می‌کنند و معمولاً به‌صورت زمان حضور در سیستم کشتی‌ها و کامیون‌ها بیان می‌شوند. به‌طورِکلی، این دسته از شاخص‌ها بیان‌کنندهٔ میزان رقابتی بودن ترمینال کانتینری است که، برای مثال، شامل زمان انتظار کشتی‌ها در لنگرگاه، زمان حضور در سیستم کشتی‌ها، زمان خدمت‌دهی به کشتی‌هاست.

شاخص‌های بهره‌وری (Productivity Indicators): معمولاً این نوع از شاخص‌ها حجم کانتینر در گردش را، مانند حجم TEU (TEU در سال)، میزان بهره‌برداری از جرثقیل‌ها (TEU در سال برای هر جرثقیل)، بهره‌وری جرثقیل (تعداد جابه‌جایی هر جرثقیل در ساعت)، بهره‌وری انبارش (TEU به‌ازای هر واحد مساحت انبارش) و عملکرد درب‌های ورود و خروج (کانتینر در ساعت)، اندازه‌گیری می‌کنند[۹]. (TEU مخفف Twenty-foot Equivalent Unit است که واحد اصلی شمارش کانتینر در بنادر است و هر کانتینر ۴۰فوتی را دو واحد در در نظر می‌گیرد.)

۴ـ۱ درآمدی بر شبیه‌سازی

شبیه‌سازی در دنیای کنونی به‌مثابهٔ متدولوژی حل مسائل و تحلیل سیستم‌ها بسیار حائز اهمیت است. توانایی این فن در مدل کردن سیستم‌های پیچیدهٔ صنعتی و خدماتی، سادگی مدل‌سازی، سهولت درک مدل و توانایی ایجاد مدل بسیار شبیه به سیستم واقعی است. از سوی دیگر، پیشرفت سیستم‌های سخت‌افزاری برای حل مدل‌های ایجادشده شبیه‌سازی را از سایر تکنیک‌های مدل سازی ممتاز کرده است[۱۰]. شبیه‌سازی عبارت است از یکسری از مراحل و شیوه‌ها و ابزارها که برای همسان‌سازی سیستم‌های موجود، با استفاده از رایانه و نرم‌افزارهای وابسته به آن، به‌کار می‌رود. شبیه‌سازی به‌مثابهٔ ابزار کمکی تصمیم‌گیری دربارهٔ عملیات ترمینال‌های کانتینری کاربرد دارد. این روش برای طراحی مدلی در روند عملیات ترمینال‌های کانتینری به‌کار می‌رود. با استفاده از شبیه‌سازی به‌جای تمرکز بر یک مسئلهٔ خاص بندر، کل جریان حرکت کانتینرها در ترمینال بررسی و بهینه‌سازی می‌شود[۱۱]. ازآنجایی‌که عوامل بسیاری بر کارایی و روند بهینه کردن عملکرد ترمینال نقش دارند، در ساخت مدل در شبیه‌سازی باید تمامی این عوامل را دخیل کرد. شبیه‌سازی متدولوژی جدیدی در حل مسائل بندر نیست بلکه از سال ۱۹۸۰ شروع شده است. اولین شبیه‌سازی‌ها درزمینهٔ مدیریت عملیات بندر بوده است که روی جزئیات و تنظیمات مدل و اعتبارسنجی آن تمرکز نداشته‌اند و بیشتر درزمینهٔ کاربرد و طراحی سناریوها کار شده بود. کولیئر (Collier) اولین شخصی بود که شبیه‌سازی را برای کمک به مطالعهٔ بنادر معرفی کرد.

۲. پیشینهٔ تحقیق

عبدالناصر و همکاران، در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵، مدل شبیه‌سازی پژوهش خود را ترکیبی یکپارچه از تمام فعالیت‌های موجود در یک بندر کانتینری قرار دادند. این مدل پیشنهادی در یک بندر به‌صورت عملی به‌کار گرفته شد و نتایج آن نشان داد که زمان سیستم کشتی‌ها ۵۱ درصد در قسمت بارگیری و بارگذاری کاهش پیدا کرده است. همچنین یک دیدگاه شبیه‌سازی گسستهٔ پیشامد برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی تخصیص فضا به انبار بندر طراحی کردند که تمام فعالیت‌های بندر را به‌صورت یکپارچه در بر می‌گرفت. نتایج محاسباتی در این مطالعهٔ موردی نشان داد که استفاده از مدل شبیه‌سازی منجر به کاهش ۵۴درصدی زمان حمل‌ونقل کانتینرها شده است[۱۲].

جونلیانگ و همکاران، در سال ۲۰۱۵، به‌منظور برنامه‌ریزی یکپارچهٔ تجهیزات ترمینال کانتینر و مدیریت مصرف انرژی، ابتدا به موضوع هزینهٔ بالای خرید تجهیزات در بندر پرداختند و سپس برنامه‌ریزی منسجم بین تمامی تجهیزات بندر را به‌مثابهٔ عامل اساسی بالا بردن نرخ خدمت و کاهش مصرف انرژی معرفی کردند. هدف نهایی این مقاله یکپارچه‌سازی برنامه‌ریزی و فناوری اطلاعات با کمک یک مدل برنامه‌ریزی خطی بود که با هدف مینیمُم کردن تأخیر کشتی‌ها و مصرف انرژی صورت پذیرفت. سپس، یک مدل شبیه‌سازی برای حل مسئله پیشنهاد شد[۱۳]. در سال ۲۰۰۴، چن و همکارانش از مدل برنامه‌ریزی خطی برای ارزیابی بهینهٔ تجهیزات بندری استفاده کردند و ارزیابی را بر اساس حجم بار ورودی تحقق بخشیدند. در این تحقیق، حجم بارگیری یک نوع کشتی خاص ارزیابی و محدودیت‌های زیادی در مدل ریاضی ایشان ایجاد شد که با عملکرد واقعی بندر منطبق نبود و امکان تعمیم این مدل به کل

فعالیت‌های تخلیه و بارگیری برای اندازه‌های متفاوت کشتی‌های ورودی به بندر وجود نداشت[۱۴].

داندوویچ و همکاران، در سال ۲۰۰۹، در مقالهٔ خود به تأیید کارایی مدل‌سازی با استفاده از سیستم‌های پویا برای رفتارهای دینامیکی فرایند حمل‌ونقل و پیدا کردن جواب بهینه برای حمل‌ونقل کالا با درنظرگرفتن نوع کالا، حجم ترافیک کالا، جهت حرکت کالا و فضای مورد نیاز و انبارداری پرداختند. آنان، در این مقاله، اهداف را به‌صورت چندبُعدی در نظر گرفتند و مدل‌های شبیه‌سازی را به‌صورت کیفی و کمّی و همچنین غیرخطی طراحی کردند. نویسندگان سه زیرسیستم «رسیدن کشتی به اسکله»، «تخلیه و بارگیری کالا از کشتی به اسکله» و «حمل کالا از اسکله به واگن‌ها، کامیون‌ها و محوطه‌ها و انبارهای داخل بندر» را در مدل خود در نظر گرفتند. نتایج مطالعه نشان داد که مدیریت سیستم حمل‌ونقل کالا در بنادر دارای اجزای پیچیدهٔ زیادی است و استفاده از سیستم‌های پویا اتفاقات را قبل از رخ دادن در دنیای واقعی با شبیه‌سازی تحلیل می‌کند[۱۵]. دورنیک و همکاران، در سال ۲۰۰۶، کارایی مدل‌های شبیه‌سازی را با استفاده از پویایی سیستم در محیط‌هایی که رفتارهای پویا دارند، مانند سیستم حمل کالا در بندر، نشان دادند و اثبات کردند که تعیین سرعت روزانهٔ تخلیهٔ کالا از کشتی، تعداد کامیون‌های مورد نیاز روزانه و تعداد واگن‌های مورد نیاز روزانه برای مدیریت بهینهٔ انبار و جلوگیری از انتظار در رسیدن کامیون و واگن، و همچنین اجتناب از ایست کامل تخلیه کالا امکان‌پذیر است[۱۶].

شه‌پناه و همکاران (۲۰۱۴) روی مدت زمان انتظار کشتی‌ها در اسکله‌های ترمینال کانتینری تمرکز و سعی کردند مسئلهٔ صف عملیات یدک‌کشی کشتی‌ها را به‌منظور کاهش زمان انتظار حل کنند. آنان داده‌های خود را از بندر بزرگ مالزی جمع‌آوری کردند و سناریوهایی برای عملیات یدک‌کشی در نظر گرفتند[۱۷]. هنسی و همکارانش، در سال ۲۰۰۶، به استفاده از شبیه‌سازی در ارزیابی تخصیص اسکله در یک ترمینال کانتینری پرداختند. در این پژوهش، عملیات و تصمیم‌گیری در یک ترمینال کانتینری شبیه‌سازی شد. بدین‌منظور، یک سیستم مدیریت تخصیص اسکله ساخته شد. این سیستم شامل دو بخش بود که عبارت بودند از: یک شبیه‌ساز ترمینال کانتینری برای مدل‌سازی عملیات و یک شبیه‌ساز مدیریتی برای مدل‌سازی عوامل گوناگون دخیل در تخصیص کشتی‌های کانتینری به اسکله‌ها. در این مطالعه، دو سیاست تخصیص اسکله در قالب سناریوهایی با طول‌های متفاوت اسکله، طول‌های متفاوت فضای لنگرگاه و توالی‌های متفاوت ورود کشتی‌ها ارزیابی شده است. آنان به مدل‌سازی اسکله‌ها در ترمینال کانتینری توسط سیستم ساخته‌شده به‌گونه‌ای پویا پرداختند[۱۸].

روش پژوهش

تحقیق حاضر، ازلحاظ هدف، کاربردی است و سعی می‌کند با شبیه‌سازی عملیات تخلیه و بارگیری کشتی‌ها کنار اسکله به شناسایی میزان بهره‌وری و عملکرد منابع موجود در سناریوهای گوناگون بپردازد. به‌لحاظ روش جمع‌آوری داده‌ها نیز، توصیفی از نوع پیمایشی است. در این تحقیق، برای شبیه‌سازی فرایند، فعالیت‌های زیر انجام شده است:

۱. فرموله کردن و مدل‌سازی مسئله

۲. جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز

۳. ورود اطلاعات پردازش‌شده به مدل در نرم‌افزار

۴. اجرای آزمایشی مدل و تولید خروجی‌های مدل

۵. اعتبارسنجی مدل

۶. اجرای نهایی و تولید خروجی‌های مورد نظر

درواقع، طی مراحل یکم تا چهارم، گام‌های زیر اجرا می‌شود:

- طبقه‌بندی کشتی‌های کانتینری ورودی به بندر بر اساس طول یا LOA (Length Overall)
- تعیین تابع توزیع ورود کشتی‌ها (فاصلهٔ زمانی بین دو ورود متوالی)
- تعیین تابع توزیع طول کشتی‌های هر گروه
- بررسی رابطهٔ بین طول کشتی و میزان عملیات
- تعریف ویژگی‌های هر گروه از کشتی‌ها در نرم‌افزار، شامل طول کشتی، میزان عملیات، متراژ اسکله و تعداد گنتری مورد نیاز، زمان عملیات و اسکله
- تعریف منابع موجود و مفروضات
- طراحی فرایند عملیات و اجرای مدل

برای طراحی مدل شبیه‌سازی در این پروژه، ابتدا کشتی‌های کانتینری ورودی به بندر شهید رجایی در ۴ گروه، شامل زیر ۱۰۰ متر، ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر، ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر و بالای ۳۰۰ متر، طبقه‌بندی شدند. سپس، مطابق شکل ۲، پس از فراخوانی کشتی، با توجه به تابع توزیع زمان بین دو ورود

متوالی (ازطریقِ ماژول Arrival Time of Ships)، مشخصه‌های آن، شامل طول، میزان عملیات، زمان خدمت‌دهی و...، ساخته و تخصیص داده می‌شوند (در ماژول Assign). روش برآورد و محاسبهٔ مشخصه‌ها در جدول ۱ آمده است. (ارتباط منطقی بین مشخصه‌ها در گام‌های روش پژوهش به‌طور کلی و در قسمت نتایج و بحث به‌تفصیل توضیح داده شده است.)

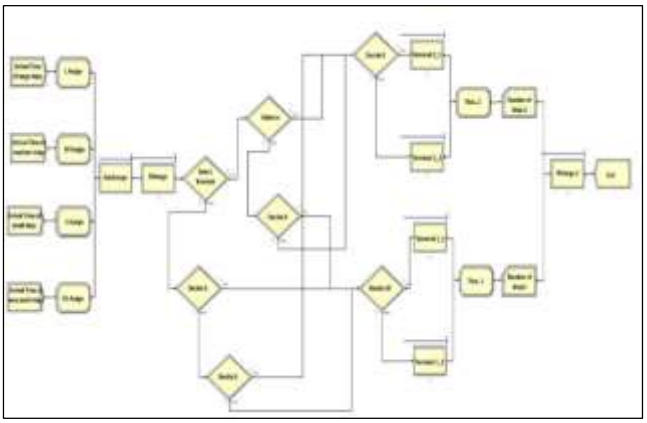
جدول ۱ روش برآورد و محاسبهٔ مشخصه‌های کشتی‌های کانتینری ورودی

مشخصه	روش محاسبه
طول کشتی	بر اساس تابع توزیع
میزان عملیات	با استفاده از معادلهٔ خط برآوردشده به‌روش رگرسیون
تعداد گنتری‌کرین مورد نیاز	نسبت نُرم استاندارد کشتی به نُرم گنتری‌کرین‌ها
زمان راهنمایی	بر اساس تابع توزیع
زمان خدمت‌دهی	نسبت میزان عملیات به مجموع نُرم گنتری‌کرین‌ها، به‌علاوهٔ زمان راهنمایی

درصورتِ موجود بودن اسکله و گنتری‌کرین مورد نیاز در ترمینال، پس از عملیات راهنمایی (طبق ماژول Pilotage) کشتی ورودی به ترمینال مورد نظر هدایت می‌شود؛ درغیراین‌صورت، در لنگرگاه (ماژول Anchorage) منتظر می‌ماند. ترمینال یک (بتا) دارای دو بخش قدیم (Terminal 1_1) و یال شرقی (Terminal 1_2)، و ترمینال دو (سینا) دارای دو بخش پیشانی (Terminal 2_1) و یال غربی (Terminal 2_2) است. قبل از تخصیص نهایی کشتی به هر ترمینال، شرط تعادل میزان عملیات نیز کنترل می‌شود تا، درصورتِ بیشتر بودن میزان عملیات ترمینال مدنظر و خالی بودن ترمینال دیگر، کشتی در ترمینال دیگر پهلو داده شود.

پس از پهلودهی کشتی، عملیات تخلیه و بارگیری آن آغاز می‌شود. بعد از اتمام عملیات، عملیات ترمینال‌ها در متغیرهای Thr1 و Th2 ذخیره می‌شود. علاوه‌برآن، تعداد کشتی‌های پهلوداده‌شده در هر ترمینال نیز ثبت می‌شود. درنهایت، کشتی پس از عملیات راهنمایی (Pilotage 2) دوباره به لنگرگاه منتقل و از سیستم خارج می‌شود.

با توجه به وجود دو پورت اپراتور در بندر شهید رجایی و لزوم توزیع تقریباً یکسان کانتینر بین آنها، مدل طوری طراحی شده است که این توازن را برقرار کند. مدل طراحی‌شده با نرم‌افزار ارنا در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل۲ مدل شبیه‌سازی طراحی شده در محیط نرم‌افزار ارنا.

نتایج و بحث

در این بخش، به تشریح مراحل تحلیل داده‌ها می‌پردازیم:

۱. جمع‌آوری داده‌ها

برای طراحی و ساخت مدل شبیه‌سازی، نیاز به جمع‌آوری داده‌های هر بخش است که از دو طریق زیر انجام گرفته است:

الف) جمع‌آوری داده‌های زمان‌سنجی‌شده به‌منظور تعیین تابع توزیع احتمال مربوط به فرایندهای گوناگون

به‌منظور تعیین تابع توزیع‌های احتمالی فرایندها، از داده‌های دورهٔ زمانی چهارماههٔ اول سال ۱۳۹۹ بهره گرفته شد که به فایل‌های متنی تبدیل شدند. این داده‌ها توسط ابزار Input Analyzer، به‌منظور برازش توزیع متناسب با داده‌های جمع‌آوری‌شده استفاده شد.

ب) جمع‌آوری داده‌های مربوط به نحوهٔ عملکرد هر بخش به‌کمک افراد خبره و مسئولان بخش‌ها

به‌منظور طراحی مدل منطقی، از نظر افراد خبره و مسئولان بخش‌های مرتبط با آن در بندر شهید رجایی استفاده شد تا به شبیه‌سازی هرچه بهتر و دقیق‌تر فرایند منجر شود.

۲. طبقه‌بندی شناورهای کانتینری وارده به بندر شهید رجایی طی چهارماههٔ اول سال ۱۳۹۹، بر اساس طول کشتی

الف) شناورهای زیر ۱۰۰ متر (کشتی‌های خیلی کوچک)

ب) شناورهای بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر (کشتی‌های کوچک)

ج) شناورهای بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر (کشتی‌های متوسط)

د) شناورهای بالای ۳۰۰ متر (کشتی‌های بزرگ)

شناورهای کانتینری وارده به بندر شهید رجایی طی چهارماهۀ اول سال ۱۳۹۹ در چهار گروه مذکور بر اساس طول کشتی طبقه‌بندی شد و فراوانی‌های مشاهده‌شده در جدول ۲ ثبت شد.

جدول ۲ طبقه‌بندی کشتی‌های کانتینری ورودی به بندر شهید رجایی طی چهارماهۀ اول سال ۱۳۹۹

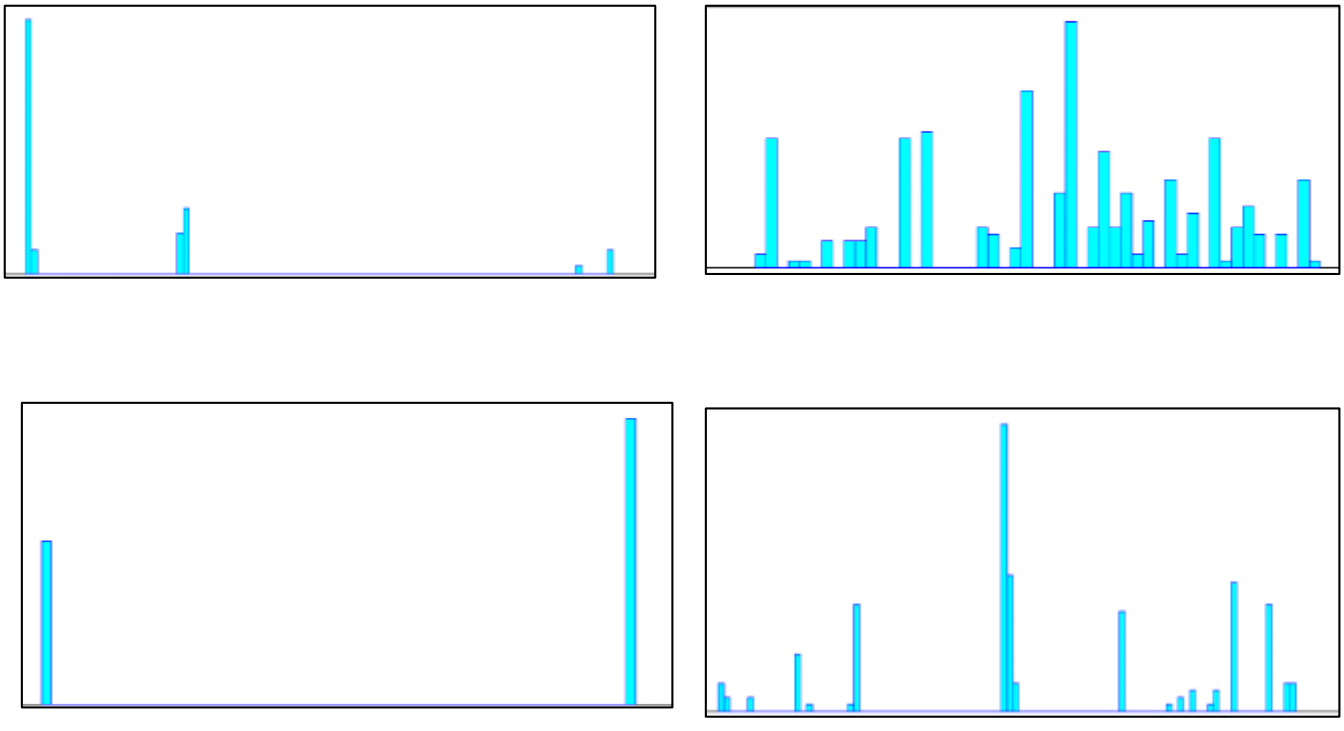
ردیف	طول شناور	نماد استفاده‌شده	فراوانی مشاهده‌شده طی ۴ ماه
۱	<100 m	VS	۲۹۸
۲	100 m- 200 m	S	۱۶۱
۳	200 m- 300 m	M	۵۱
۴	>300 m	L	۱۱
مجموع			۵۲۱

۳. تعیین تابع توزیع زمان بین دو ورود متوالی انواع شناورها

از آزمون مربع کای، به‌منظور برازش توزیع متناسب با داده‌ها، مشخص شد که مدت زمان بین دو ورود متوالی انواع شناورها از توزیع‌های آماری به‌شرح جدول ۳ تبعیت می‌کنند:

جدول ۳ تابع توزیع مدت زمان بین دو ورود متوالی انواع کشتی‌ها

طول شناور	آمارۀ مربع کای	درجۀ آزادی	سطح معنی‌داری	توزیع داده‌ها
<100 m	۱۱/۵	۷	۰/۱۲۷	نمایی با میانگین ۱۰/۱ ساعت
100 m- 200 m	۶/۱۶	۴	۰/۲۰۱	بتا با پارامترهای ۰/۹۵۳ و ۲/۸۴
200 m- 300 m	۵/۱۳	۲	۰/۰۸۱	نمایی با میانگین ۵۸/۴ ساعت
>300 m	۵/۲۴	۲	۰/۱۲	نمایی با میانگین ۱۰۷ ساعت



شکل ۳ نمودارهای تابع توزیع طول کشتی‌های ورودی به بندر شهید رجایی.

۴. تعیین تابع توزیع طول شناورها

طبق نمودارهای شکل ۳، با توجه به اینکه توزیع طول هر چهار گروه شناورها از توزیعی خاص تبعیت نمی‌کند، توزیع گسستهٔ ساده را برای آنها انتخاب می‌کنیم.

۵. بررسی ارتباط بین طول شناور و میزان عملیات تخلیه و بارگیری

بعد از ورود شناور به لنگرگاه، باید طول آن (با توجه به تابع توزیع شناسایی‌شده) ساخته و سپس میزان عملیات آن برآورد شود تا بتوان مدت زمان عملیات را تعیین کرد. برای تعیین ارتباط بین طول و میزان عملیات شناور، از رگرسیون خطی استفاده شده است. با توجه به تک‌متغیره بودن رگرسیون، ابتدا دو شرط اولیهٔ آن، یعنی ۱. نرمال بودن توزیع خطاها و ۲. مستقل بودن خطاها، با آزمون دوربین‌ـواتسون بررسی شد و، درصورتِ دارا بودن شرایط، برازش انجام‌شده و معادلهٔ خط مورد نیاز (بین متغیرهای طول و میزان عملیات)، درصورتِ معنی‌دار بودن رگرسیون، ارائه شد.

۵ـ۱ بررسی شرط اول (نرمال بودن توزیع خطاها)

طبق جدول ۴، مشاهده می‌شود که برای همهٔ گروه‌های شناور تفاوتی بسیار اندک بین میانگین، میانه و مد داده‌ها وجود دارد و قدرمطلق چولگی و کشیدگی نیز از ۲ کمتر است. بنابراین، می‌توان گفت داده‌های هر چهار توزیع از توزیع نرمال برخوردارند.

جدول ۴ بررسی نرمال بودن توزیع خطاها در رگرسیون بین طول و میزان عملیات شناورها

طول شناور	تعداد	میانگین	میانه	مد	چولگی	کشیدگی
<100 m	۲۹۸	۰/۰۰۰	-۰/۰۸۷	۰/۰۷۰	۰/۳۹۱	۰/۰۳۰
100 m- 200 m	۱۶۱	۰/۰۰۰	-۰/۰۱۶	-۰/۳۰۹	۰/۳۶۵	۱/۰۶۴
200 m- 300 m	۵۱	۰/۰۰۰	-۰/۰۵۹	-۰/۶۷۹	۰/۱۲۸	۰/۳۸۸
>300 m	۱۱	۰/۰۰۰	۰/۱۷۵	-۰/۸۸۸	-۰/۸۰۸	-۰/۰۸۴

۵ـ۲ بررسی شرط دوم (آزمون دوربین‌ـواتسون برای بررسی استقلال باقی‌مانده‌ها (خطاها))

جدول ۵ نشان می‌دهد که برای همهٔ گروه‌های شناور مقدار آمارهٔ آزمون دوربین‌ـواتسون بین ۱/۵ و ۲/۵ قرار دارد و این ناهمبستگی مقادیر خطاها را نشان می‌دهد. بنابراین، می‌توان مدل رگرسیونی را برازش داد.

جدول ۵ آزمون دوربین‌ـواتسون استقلال خطاها در رگرسیون بین طول و عملیات شناورها

طول شناور	ضریب همبستگی	ضریب تعیین تعدیل‌شده	خطای استاندارد برآورد	آمارهٔ دوربین‌ـواتسون
<100 m	۰/۶۶۵	۰/۴۴۰	۴۲/۷۵۸	۱/۸۰۵
100 m- 200 m	۰/۶۴۵	۰/۴۱۲	۳۴۸/۹۰۵	۱/۹۸۶
200 m- 300 m	۰/۷۱۵	۰/۵۰۱	۷۱۹/۶۷۱	۱/۷۸۲
>300 m	۰/۹۱۸	۰/۸۲۴	۱۰۸۰/۰۳۷	۲/۳۷۲

۵ـ۳ برازش مدل رگرسیون

طبق جدول ۶، ملاحظه می‌شود که مقدار سطح معنی‌داری همهٔ گروه‌ها از ۰/۰۵ کمتر است و این معنی‌دار بودن رگرسیون را نشان می‌دهد. جدول ضرایب ۷ نیز نشان می‌دهد که ضرایب رگرسیون معنی‌دار بوده‌اند.

جدول ۶ آنالیز واریانس برای بررسی معنی‌دار بودن مدل رگرسیون بین طول و عملیات

طول شناور	مدل	مجموع مربعات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات	آمارهٔ F	سطح معنی‌داری
<100 m	رگرسیون	۴۲۸۱۷۳/۲۱۷	۱	۴۲۸۱۷۳/۲۱۷	۲۳۴/۲۰۲	۰/۰۰۰
	باقی‌مانده	۵۴۱۱۵۳/۰۶۸	۲۹۶	۱۸۲۸/۲۲		
	مجموع	۹۶۹۳۲۶/۲۸۵	۲۹۷			
100 m- 200 m	رگرسیون	۱۳۷۶۶۴۳۳/۷۴۲	۱	۱۳۷۶۶۴۳۳/۷۴۲	۱۱۳/۰۸۶	۰/۰۰۰
	باقی‌مانده	۱۹۳۵۵۸۲۳/۰۷۸	۱۵۹	۱۲۱۷۳۴/۷۳۶		
	مجموع	۳۳۱۲۲۲۵۶/۸۲۰	۱۶۰			
200 m- 300 m	رگرسیون	۲۶۵۲۸۲۹۹/۳۹۲	۱	۲۶۵۲۸۲۹۹/۳۹۲	۵۱/۲۲۰	۰/۰۰۰
	باقی‌مانده	۲۵۳۷۸۳۹۹/۲۳۵	۴۹	۵۱۷۹۲۶/۵۱۵		
	مجموع	۵۱۹۰۶۶۹۸/۶۲۷	۵۰			
>300 m	رگرسیون	۵۵۹۲۳۵۷۹/۷۵۳	۱	۵۵۹۲۳۵۷۹/۷۵۳	۴۷/۹۴۲	۰/۰۰۰
	باقی‌مانده	۱۰۴۹۸۳۲۲/۴۲۹	۹	۱۱۶۶۴۸۰/۲۷۰		
	مجموع	۶۶۴۲۱۹۰۲/۱۸۲	۱۰			

جدول ۷ تعیین ضرایب مدل رگرسیونی بین طول و عملیات شناورها

طول شناور	مدل	ضرایب غیراستاندارد		ضرایب غیراستاندارد	آمارهٔ t	سطح معنی‌داری
		B	خطای استاندارد	Beta		
<100 m	مقدار ثابت	-۱۲۲/۹۲۸	۱۴/۴۸۸		-۸/۴۸۵	۰/۰۰۰
	LOAU100	۲/۸۷۸	۰/۱۸۸	۰/۶۶۵	۱۵/۳۰۴	۰/۰۰۰
100 m- 200 m	مقدار ثابت	-۹۷۶/۹۹۴	۱۵۹/۳۱۷		-۶/۱۳۲	۰/۰۰۰
	LOA100200	۱۰/۶۸۷	۱/۰۰۵	۰/۶۴۵	۱۰/۶۳۴	۰/۰۰۰
200 m- 300 m	مقدار ثابت	-۴۴۵۱/۹۲۲	۸۹۷/۹۲۷		-۴/۹۵۸	۰/۰۰۰
	LOA200300	۲۸/۹۶۷	۴/۰۴۷	۰/۷۱۵	۷/۱۵۷	۰/۰۰۰
>300 m	مقدار ثابت	-۱۸۱۱۲/۹۷۰	۳۷۶۴/۱۳۳		-۴/۸۱۲	۰/۰۰۱
	LOAM300	۷۵/۶۰۰	۱۰/۹۱۹	۰/۹۱۸	۶/۹۲۴	۰/۰۰۰

جدول ۸ رابطهٔ خطی برآوردشده بین طول و عملیات شناورها

طول شناور	معادلهٔ خط برآوردشده
<100 m	$THRLU100 = 2.878 LOAU100 - 122.928$
100 m- 200 m	$THRL100200 = 10.687 LOA100200 - 976.994$
200 m- 300 m	$THRL200300 = 28.967 * LOA200300 - 4451.922$
>300 m	$THRLM300 = 75.6 * LOAM300 - 18112.97$

ازاین‌رو، در معادلهٔ خطوط برآوردشده طبق جدول ۸، LOAU100، LOA100200، LOA200300 و LOAM300، به‌ترتیب، طول شناورهای زیر ۱۰۰ متر، ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر، ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر و بالای ۳۰۰ متر هستند. THRLU100، THRL100200، THRL200300 و THRLM300 نیز، به‌ترتیب، میزان عملیات شناورهای مزبور هستند.

۶. تخمین تابع توزیع زمان یدک‌کشی (راهنمایی) و باز و بستن کشتی‌ها

با توجه به دسترسی نداشتن به داده‌های راهنمایی انواع شناورها، از یک سو، و واریانس بالای مدت زمان باز و بستن کشتی‌ها، از سوی دیگر، و تبعیت نکردن از توزیع آماری خاص، زمان یدک‌کشی و باز و بستن کشتی‌ها یکنواخت ساده در نظر گرفته شد. در جدول ۹، توابع توزیع احتمال آنها نشان داده شده است.

جدول ۹ توابع توزیع احتمال زمان یدک‌کشی (راهنمایی) و باز و بستن گروه‌های چهارگانهٔ کشتی‌ها

ردیف	نوع شناور	تابع توزیع مدت زمان صرف‌شده برای باز و بستن کشتی	تابع توزیع مدت زمان یدک‌کشی (راهنمایی)
۱	VS	UNIF(1,7)	UNIF(0.5,1)
۲	S	UNIF(2,9)	UNIF(0.5,1)
۳	M	UNIF(3,10)	UNIF(1,1.5)
۴	L	UNIF(4,13)	UNIF(1,1.5)

۷. فرمول‌های استفاده‌شده برای محاسبهٔ تعداد گنتری‌کرین مورد نیاز و زمان عملیات شناور

کشتی‌هایی که به هریک از ترمینال‌ها وارد می‌شوند می‌بایست در زمانی معیّن و استاندارد تخلیه/بارگیری شوند. این مستلزم آن است که نُرم استاندارد کشتی تأمین شود. با توجه به طول کشتی‌ها، نُرم استاندارد کشتی طبق رابطهٔ ۱ محاسبه می‌شود که در آن LOA طول کشتی است[۱۹]:

$$Std.Norm = LOA * 6.5 / 23 \quad (۱)$$

از تقسیم نُرم استاندارد به ظرفیت تخلیه و بارگیری هر گنتری‌کرین تعداد مورد نیاز آن به دست می‌آید. زمان عملیات (Operation Time) هر شناور نیز از تقسیم میزان عملیات تخلیه و بارگیری به نُرم استاندارد حاصل می‌شود (رابطهٔ ۲):

$$O.T = Operation / Std.Norm \quad (۲)$$

این فرمول‌ها برای محاسبهٔ سرویس تایم هر کشتی در سیستم استفاده شدند.

۸. وضعیت منابع موجود برای خدمت‌رسانی به کشتی‌های کانتینری

در حال حاضر، دو پورت اپراتور بتا و سینا در بندر شهید رجایی عملیات تخلیه و بارگیری کانتینر کنار اسکله را انجام می‌دهند. این دو پورت اپراتور مجموعاً ۲۳ دستگاه گنتری‌کرین و حدود ۲۰۰۰ متر اسکلهٔ کانتینری (متراژ مفید) در اختیار دارند که این منابع به‌همراه متوسط میزان آماده‌به‌کاری آنها در نرم‌افزار ARENA وارد شد.

۹. فرضیات مدل

برای شبیه‌سازی هر فرایندی، لازم است یکسری مفروضات لحاظ شود تا از پیچیدگی مدل کاسته و هدف نهایی برآورده شود. مفروضات شبیه‌سازی در تحقیق حاضر عبارت‌اند از:

۱. یدک‌کش به‌اندازهٔ کافی برای انتقال کشتی‌ها از لنگرگاه به ترمینال‌ها وجود دارد.

۲. کشتی‌ها در زمان عملیات (Operation Time) استاندارد تخلیه و بارگیری می‌شوند.

۳. سهم پنجاه‌درصدی هرکدام از دو پورت اپراتور کاملاً رعایت می‌شود.

یافته‌ها

ابتدا، توابع و روابط ریاضی به‌دست‌آمده و همچنین منابع موجود در نرم‌افزار ARENA تعریف شدند. با توجه به اینکه زمان خدمت‌دهی در سیستم باید بر اساس Berth Time باشد و نیز زمانی برای انجام عملیات یدک‌کشی و راهنمایی صَرف می‌شود، به زمان عملیات (Operation Time) زمان باز و بستن کشتی و همچنین زمان یدک‌کشی و راهنمایی، به‌شرح جدول ۹، اضافه شد. در این قسمت، به بررسی نتایج مدل شبیه‌سازی، اعتبارسنجی مدل و بررسی سناریوها خواهیم پرداخت.

۱. بررسی خروجی‌ها

جدول ۱۰ مقادیر به‌دست‌آمده برای شاخص‌های زمان خدمت‌دهی، زمان انتظار و تعداد کشتی‌های پهلوداده‌شده

نوع کشتی	زمان خدمت‌دهی (ST)			زمان انتظار (WT)			تعداد کشتی پهلوداده‌شده		
	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر
بزرگ (L)	۸۰/۹۵	۵۵/۵۸	۹۱/۷۱	۰/۲۹	۰/۰۰	۱۴/۳۲	۱۲	۱۰	۱۵
متوسط (M)	۳۲/۶۳	۲۵/۹	۵۴/۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۴۷	۳۷	۵۶
کوچک (S)	۱۸/۶۱	۵/۰۴	۲۷/۲۴	۰/۰۱	۰/۰۰	۴/۶۴	۱۴۴	۱۳۱	۱۵۷
خیلی کوچک (VS)	۸/۷۳	۳/۱۳	۱۳/۴۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۱۰/۷۸	۲۷۰	۲۵۲	۳۰۱

الف) شاخص زمان خدمت‌دهی (ST): سرویس تایم (Service Time) حاصل‌جمع زمان‌های یدک‌کشی و راهنمایی (Pilotage Time)، باز و بستن کشتی و پهلوگیری کنار اسکله (Berth Time) است. متوسط مدت زمان خدمت‌دهی برای انواع کشتی‌ها مطابق جدول ۱۰ بوده است. این نتایج نشان می‌دهد که متوسط زمان خدمت‌دهی برای کشتی‌های بزرگ، متوسط، کوچک و خیلی کوچک، به‌ترتیب، ۸۱، ۳۲/۶، ۱۸/۶ و ۸/۷ ساعت بوده است.

ب) شاخص زمان انتظار کشتی در لنگرگاه (WT): زمان انتظار، مدت زمان توقف کشتی در لنگرگاه، به‌دلیل نبودِ اسکله و تجهیزات بی‌کار (خالی) برای عرضهٔ خدمات است. طبق جدول ۱۰، متوسط زمان انتظار کشتی‌های بزرگ، متوسط، کوچک و خیلی کوچک به‌ترتیب، ۰/۲۹، ۰، ۰/۰۱ و ۰/۰۱ ساعت بوده است.

ج) تعداد کشتی‌های پهلوداده‌شده در بندر: طبق جدول ۱۰، در بازهٔ زمانی چهارماهه، کشتی‌های بالای ۳۰۰ متر ۱۲ فروند، بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر ۴۷ فروند، بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر ۱۴۴ فروند و زیر ۱۰۰ متر ۲۷۰ فروند در بندر شهید رجایی تردد داشته‌اند. مقادیر حداقل و حداکثر به‌دلیل ۵ بار اجرا و تکرار مدل شبیه‌سازی است.

د) ضریب اشغال اسکله‌ها و گنتری‌کرین‌ها: ضریب اشغال یک منبع کسری از زمان دردسترس بودن آن است که در وضعیت

مشغول قرار دارد. طبق جدول ۱۱، ملاحظه می‌شود که متوسط ضریب اشغال اسکله‌های ترمینال یک (قسمت قدیم) و یال شرقی، به‌ترتیب، ۱۶ و ۲۴ درصد و اسکله‌های ترمینال دو قسمت پیشانی و یال غربی، به‌ترتیب، ۲۹ و ۹ درصد بوده است.

گنتری‌کرین‌های ترمینال‌های یک قسمت قدیم و یال شرقی نیز، به‌ترتیب، به‌طور متوسط ۱۱ و ۳۳ درصد استفاده شده‌اند و گنتری‌کرین‌های ترمینال دو بخش پیشانی و یال غربی، به‌ترتیب، به‌طور متوسط ۳۴ و ۸ درصد مشغول به‌کار بوده‌اند. متوسط استفاده از یدک‌کش‌ها نیز حدود ۳ درصد بوده است.

جدول ۱۱ مقادیر شاخص‌های ضریب اشغال اسکله‌ها و گنتری‌کرین‌ها و میزان استفاده از منابع

منابع	ضریب اشغال			متراژ (تعداد) منبع استفاده‌شده		
	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر
اسکله‌های ترمینال یک قدیم	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۲۱	۲۵	۰	۱۴۷
اسکله‌های ترمینال یک (یال شرقی)	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۲۷	۲۰۸	۰	۷۱۵
اسکله‌های ترمینال دو (پیشانی)	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۳۱	۲۱۵	۰	۷۲۹
اسکله‌های ترمینال دو (یال غربی)	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۱۱	۲۵	۰	۳۲۰
گنتری‌کرین‌های ترمینال یک قدیم	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۱۳	۱	۰	۲
گنتری‌کرین‌های ترمینال یک (یال شرقی)	۰/۳۳	۰/۳	۰/۳۷	۳	۰	۸
گنتری‌کرین‌های ترمینال دو (پیشانی)	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۶	۳	۰	۸
گنتری‌کرین‌های ترمینال دو (یال غربی)	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۱۱	۱	۰	۴
یدک‌کش	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۱	۰	۵

ه) چگونگی استفاده از منابع: جدول ۱۱ همچنین حداقل، حداکثر و متوسط متراژ (تعداد) منابع استفاده‌شده را نشان می‌دهد. برای مثال، درخصوص گنتری‌کرین‌ها، از همهٔ گنتری‌کرین‌های یال غربی، پیشانی و یال شرقی استفاده شده ولی از یکی از گنتری‌کرین‌های ترمینال قدیم بتا طی بازهٔ شبیه‌سازی هیچ استفاده‌ای نشده است.

و) تعداد کشتی‌های ورودی به بندر به‌تفکیک اندازهٔ کشتی: طبق جدول ۱۲، در بازهٔ زمانی چهارماهه، تعداد کشتی‌های بزرگ، متوسط، کوچک و خیلی کوچک ورودی به ترمینال‌های بندر، به‌ترتیب، ۱۲، ۴۷، ۱۴۴ و ۲۷۰ فروند بوده است.

جدول ۱۲ تعداد کشتی‌های ورودی به بندر به‌تفکیک اندازهٔ کشتی، طی دورهٔ شبیه‌سازی

تعداد	میانگین		
	میانگین	حداقل	حداکثر
کشتی‌های بزرگ	۱۲	۱۰	۱۵
کشتی‌های متوسط	۴۷	۳۷	۵۶
کشتی‌های کوچک	۱۴۴	۱۳۱	۱۵۷
کشتی‌های خیلی کوچک	۲۷۰	۲۵۲	۳۰۱

ز) میزان عملیات کانتینری چهارماهه: طبق خروجی جدول ۱۳، طی چهارماههٔ تعریف‌شده، عملیات ترمینال‌های کانتینری بندر شهید رجایی ۳۴۶۷۶۸ باکس کانتینر بوده است.

جدول ۱۳ میزان عملیات کانتینری بندر شهید رجایی، طی دورهٔ شبیه‌سازی

میزان عملیات	باکس (BOX)
مجموع دو ترمینال	۳۴۶۷۶۸

۲. بررسی صحت و اعتبار مدل

برای اطمینان از اجرای صحیح مدل که تمام اجزای ضروری سیستم را دارا باشد، فرایند بررسی صحت مدل اجرا می‌شود. همچنین، به‌منظور کسب اطمینان از اینکه مدل ساخته‌شده با سطح قابل‌قبولی ارائه‌دهندهٔ سیستم واقعی است، فرایند معتبرسازی اجرا می‌شود. بدین‌منظور، در این قسمت، مجموعهٔ داده‌های مدل و سیستم واقعی با یکدیگر مقایسه می‌شوند[۱۲]. تعدادی از شاخص‌های سیستم که قابلیت محاسبه داشتند انتخاب و داده‌های واقعی و شبیه‌سازی‌شده با هم مقایسه شدند.

جدول ۱۴ مقایسهٔ شاخص‌های مدل شبیه‌سازی‌شده و واقعی، به‌منظور سنجش اعتبار مدل

شاخص کلی	وضعیت	واحد	VS	S	M	L
تعداد کشتی‌های ورودی	خروجی مدل شبیه‌سازی	فروند	۲۷۰	۱۴۴	۴۷	۱۲
	داده‌های واقعی	فروند	۲۹۸	۱۶۱	۵۱	۱۱
	انحراف از داده‌های واقعی	درصد	-٪۹	-٪۱۱	-٪۸	٪۹
شاخص سرویس تایم	خروجی مدل شبیه‌سازی	ساعت	۹	۱۹	۳۳	۸۱
	داده‌های واقعی	ساعت	۱۰	۲۰	۳۷	۸۹
	انحراف از داده‌های واقعی	درصد	-٪۱۰	-٪۵	-٪۱۱	-٪۹
میزان عملیات بندر	خروجی مدل شبیه‌سازی	BOX	۳۴۶۷۶۸			
	داده‌های واقعی	BOX	۳۲۴۸۴۳			
	انحراف از داده‌های واقعی	درصد	٪۷			

جدول ۱۵ خروجی‌های مدل شبیه‌سازی‌شده برای عملکرد کانتینری یک‌سالهٔ بندر شهید رجایی در شرایط فعلی (تحریم)

شاخص	واحد	زیرگروه/ بخش	وضعیت فعلی
ST	ساعت	بزرگ	۷۹
		متوسط	۳۳
		کوچک	۱۹
		خیلی کوچک	۹
WT	ساعت	بزرگ	۰/۴۲
		متوسط	۰/۱۸
		کوچک	۰/۲۴
		خیلی کوچک	۰/۰۲
ضریب اشغال ترمینال یک	درصد	اسکله‌ها (قدیم)	۱۸
		گنتری‌کرین‌ها (قدیم)	۱۲
		اسکله‌ها (یال شرقی)	۲۵
		گنتری‌کرین‌ها (یال شرقی)	۳۴
حداکثر منابع استفاده‌شدهٔ ترمینال یک	متر/ دستگاه	اسکله‌های قدیم (۱۵۰ متر)	۱۴۹
		گنتری‌کرین‌های قدیم (۳ دستگاه)	۲
		اسکله‌های یال شرقی (۸۵۰ متر)	۷۱۵
		گنتری‌کرین‌های یال شرقی (۸ دستگاه)	۸
ضریب اشغال ترمینال دو	درصد	اسکله‌ها (پیشانی)	۲۹
		گنتری‌کرین‌ها (پیشانی)	۳۴
		اسکله‌ها (یال غربی)	۹
		گنتری‌کرین‌ها (یال غربی)	۱۰
حداکثر منابع استفاده‌شده ترمینال دو	متر/ دستگاه	اسکله‌های پیشانی (۷۵۰ متر)	۷۳۱
		گنتری‌کرین‌های پیشانی (۸ دستگاه)	۸
		اسکله‌های یال غربی (۳۲۰ متر)	۳۲۰
		گنتری‌کرین‌های یال غربی (۴ دستگاه)	۴
ضریب اشغال یدک‌کش‌ها	درصد	-	۳
حداکثر تعداد استفاده‌شده	فروند	-	۶
تعداد کشتی ورودی	فروند	-	۱۴۴۴
مجموع عملیات	Box	-	۹۷۹۳۶۱

طبق جدول ۱۴، مشاهده می‌شود که داده‌های مدل واقعی و شبیه‌سازی‌شده بین ۵ تا ۱۱ درصد با یکدیگر تفاوت دارند. بنابراین، اختلاف ناچیزی بین دو مدل وجود دارد.

۳. شبیه‌سازی عملیات کانتینری با وضعیت فعلی در طول یک سال

پس از آنکه اعتبار و صحت مدل بررسی و دقت بالایی بین مدل شبیه‌سازی شده و مدل واقعی مشاهده شد، به محاسبه، بررسی و تحلیل شاخص‌های عملیات تخلیه و بارگیری کانتینری در طول یک سال پرداخته می‌شود. پس از اجرای مدل برای یک سال (۳۶۳ روز غیرتعطیل و شبانه‌روز ۲۳ ساعت کاری)، خروجی‌ها به‌صورت جدول ۱۵ ارائه شد.

خروجی‌های این جدول نشان می‌دهند که، در حالت کلی، کشتی‌های ورودی در همهٔ اندازه‌ها، مدت زمانی را در لنگرگاه منتظر می‌مانند. این میزان به‌طور متوسط برای کشتی‌های بزرگ حدود نیم ساعت (۰/۴۲ ساعت) و برای کشتی‌های خیلی کوچک ناچیز است. ضریب اشغال اسکله‌های چهار قسمت دو ترمینال بین ۹ تا ۲۹ درصد متغیر است که بیشترین ضریب اشغال به پیشانی و کمترین به یال غربی تعلق دارد. ضریب اشغال گنتری‌کرین‌ها نیز بین ۱۰ تا ۳۴ درصد است که در یال شرقی و پیشانی ۳۴ درصد است. گنتری‌کرین‌های ترمینال یک قدیم و یال غربی، به‌ترتیب، ۱۲ و ۱۰ درصد مشغول به کار بوده‌اند. ضریب اشغال یدک‌کش‌ها نیز ۳ درصد بوده است.

طی یک سال شبیه‌سازی‌شده، تقریباً هر ۱۵۰ متر اسکله‌های ترمینال یک قدیم و ۳۲۰ متر اسکله‌های یال غربی استفاده و از اسکله‌های پیشانی و یال شرقی بین ۸۵ تا ۹۵ درصد بهره‌برداری شده است. از ۱۰ یدک‌کش موجود، تنها ۶ فروند استفاده شده است. ۱۴۴۲ فروند کشتی در این حالت به بندر وارد می‌شود و مجموع عملیات ترمینال یک و دو به ۹۷۹۳۶۱ BOX می‌رسد (معادل ۱۴۷۰۰۰۰ TEU که با توجه به نسبت تقریباً مساوی تعداد کانتینر ۲۰ و ۴۰فوتی محاسبه شده است).

نکتهٔ حائز اهمیت اینکه، در این حالت، حداکثر از ۳۴ درصد از ظرفیت گنتری‌کرین‌ها و ۲۹ درصد از ظرفیت اسکله‌ها استفاده شده و ازاین‌رو، بندر با مازاد ظرفیت کانتینری در کنار اسکله روبه‌روست.

۴. شبیه‌سازی عملیات کانتینری با وضعیت قبل از اِعمال تحریم‌ها در طول یک سال (شرایط پساتحریم)

سناریوی دوم این است که فرض کنیم بندر به شرایط معمول و قبل از اِعمال تحریم‌های ظالمانهٔ اقتصادی و قطع تردد خطوط لاینر بین‌المللی بازگردد. باید دید در شرایط جدید وضعیت منابع و خدمت‌رسانی به چه صورت خواهد بود. بدین‌منظور، ابتدا اطلاعات نرخ ورود انواع کشتی‌های چهارگانه (طبق تقسیم‌بندی تحقیق) در چهارماههٔ اول ۱۳۹۶ (به‌مثابهٔ بازهٔ زمان قبل از تحریم‌ها و فراهم ساختن شرایط پساتحریم) جمع‌آوری و با اطلاعات چهارماههٔ اول سال ۱۳۹۹ مقایسه شد (جدول ۱۶). پس از مقایسهٔ تعداد کشتی‌های ورودی، به‌همین نسبت، نرخ ورود کشتی‌ها (فاصلهٔ زمانی بین دو ورود) به بندر تغییر یافت.

جدول ۱۶ مقایسهٔ روند ورود انواع کشتی به بندر شهید رجایی در دو مقطع زمانی

	خیلی کوچک	کوچک	متوسط	بزرگ	مجموع
چهارماههٔ اول ۹۹	۲۹۸	۱۶۱	۵۱	۱۱	۵۲۱
چهارماههٔ اول ۹۶	۱۲۰	۱۱۸	۱۳۹	۴۷	۴۲۴
درصد تغییر	۱۴۸ درصد	۳۶ درصد	۶۳- درصد	۷۷- درصد	۲۳ درصد

با اِعمال تغییرات آهنگ ورود مطابق کاهش و افزایش‌های جدول ۱۱ در انواع کشتی‌ها به بندر، مدل شبیه‌سازی مجدداً برای یک سال اجرا شد و خروجی‌های جدول ۱۷ به دست آمد.

جدول ۱۷ خروجی‌های مدل شبیه‌سازی‌شده برای عملکرد کانتینری یک‌سالهٔ بندر شهید رجایی در شرایط لغو تحریم‌ها و مقایسه با شرایط فعلی

شاخص	واحد	زیرگروه/ بخش	وضعیت فعلی	وضعیت لغو تحریم‌ها	تغییرات
ST	ساعت	بزرگ	۷۹	۷۷	۳- درصد
		متوسط	۳۳	۳۴	۳ درصد
		کوچک	۱۹	۱۹	۰
		خیلی کوچک	۹	۹	۰
WT	ساعت	بزرگ	۰/۴۲	۰/۹۵	**۱۲۶ درصد**
		متوسط	۰/۱۸	۰/۸۸	**۳۸۹ درصد**
		کوچک	۰/۲۴	۰/۴۸	**۱۰۰ درصد**
		خیلی کوچک	۰/۰۲	۰/۲۲	**۱۰۰۰ درصد**
ضریب اشغال ترمینال یک	درصد	اسکله‌ها (قدیم)	۱۸	۱۴	**۲۲- درصد**
		گنتری‌کرین‌ها (قدیم)	۱۲	۹	**۲۵- درصد**
		اسکله‌ها (یال شرقی)	۲۵	۳۹	**۵۶ درصد**
		گنتری‌کرین‌ها (یال شرقی)	۳۴	۵۳	**۵۶ درصد**
حداکثر منابع استفاده‌شدهٔ ترمینال یک	متر/ دستگاه	اسکله‌های قدیم (۱۵۰ متر)	۱۴۹	۱۴۸	۱- درصد
		گنتری‌کرین‌های قدیم (۳ دستگاه)	۲	۲	۰
		اسکله‌های یال شرقی (۸۵۰ متر)	۷۱۵	۷۳۰	۲ درصد
		گنتری‌کرین‌های یال شرقی (۸ دستگاه)	۸	۸	۰
ضریب اشغال ترمینال دو	درصد	اسکله‌ها (پیشانی)	۲۹	۳۹	**۳۴ درصد**
		گنتری‌کرین‌ها (پیشانی)	۳۴	۴۷	**۳۸ درصد**
		اسکله‌ها (یال غربی)	۹	۲۱	**۱۳۳ درصد**
		گنتری‌کرین‌ها (یال غربی)	۱۰	۲۱	**۱۱۰ درصد**
حداکثر منابع استفاده‌شده ترمینال دو	متر/ دستگاه	اسکله‌های پیشانی (۷۵۰ متر)	۷۳۱	۷۰۵	۴- درصد
		گنتری‌کرین‌های پیشانی (۸ دستگاه)	۸	۸	۰
		اسکله‌های یال غربی (۳۲۰ متر)	۳۲۰	۳۲۰	۰
		گنتری‌کرین‌های یال غربی (۴ دستگاه)	۴	۴	۰
ضریب اشغال یدک‌کش‌ها	درصد	-	۳	۳	۰
حداکثر تعداد استفاده‌شده	فروند	-	۶	۶	۰
تعداد کشتی ورودی	فروند	ترمینال یک	۱۴۴۴	۱۱۱۷	**۲۳- درصد**
مجموع عملیات	Box	-	۹۷۹۳۶۱	۱۵۴۵۳۱۵	**۵۸ درصد**

طبق جدول ۱۷، ملاحظه می‌شود که، در حالت رفع تحریم‌های اقتصادی، اتفاقات زیر رخ خواهد داد:

الف) زمان انتظار کشتی‌ها بین دو تا یازده برابر افزایش می‌یابد.

ب) ضریب اشغال اسکله‌ها و گنتری‌کرین‌های ترمینال یک قدیم، به‌دلیل ورود کمتر شناورهای خیلی کوچک و کوچک، کاهش می‌یابد ولی ضریب اشغال اسکله‌ها و گنتری‌کرین‌های یال شرقی ترمینال یک ۵۶ درصد افزایش می‌یابد و، به‌ترتیب، به ۳۹ و ۵۳ درصد می‌رسد که درخور توجه است. ضمناً، بالای ۸۵ درصد از متراژ اسکله‌های ترمینال یک نیز استفاده می شود.

ج) ضریب اشغال اسکله‌ها و گنتری‌کرین‌های یال جنوبی (پیشانی) ترمینال دو ۳۴ و ۳۸ درصد افزایش می‌یابد و، به‌ترتیب، به ۳۹ و ۴۷ درصد می‌رسد. ضریب اشغال اسکله‌ها و گنتری‌کرین‌های یال غربی نیز به‌میزان ۱۳۳ و ۱۱۰ درصد افزایش می‌یابد و به ۲۱ درصد می‌رسد. از کل فضای اسکله‌های یال غربی و تقریباً ۹۵ درصد پیشانی استفاده شده است.

د) تعداد کشتی‌های ورودی به بندر، به‌دلیل ورود کشتی‌های بزرگ‌تر به‌جای کشتی‌های کوچک‌تر، ۲۳ درصد کاهش می‌یابد.

ه) میزان عملیات کلی بندر ۵۸ درصد افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

اگر وضعیت بیرونی حاکم بر مسئله را به‌صورت دو سناریوی ۱. وضعیت فعلی و ۲. وضعیت بدون تحریم‌ها و بازگشت به شرایط قبل از تحریم در نظر بگیریم، شاخص‌های بهره‌وری منابع نشان می‌دهند که ضریب اشغال اسکله‌ها در وضعیت فعلی بین ۹ تا ۲۹ درصد بوده است که، با تغییر شرایط ورود کشتی و بازگشت به شرایط قبل از تحریم‌ها، ضریب اشغال اسکله‌ها (جز ترمینال قدیم، به‌دلیل کاهش کشتی‌های کوچک) به‌طور چشمگیری افزایش یافته و در یال شرقی و پیشانی به حدود ۴۰ درصد رسیده است. ضریب اشغال گنتری‌کرین‌ها نیز که بین ۱۰ تا ۳۴ درصد بوده است شدیداً افزایش داشته و در یال‌های شرقی و پیشانی به حدود ۵۰ درصد رسیده است. افزایش نرخ ورود کشتی‌ها و رسیدن ضریب اشغال اسکله‌ها به حدود ۷۰ درصد نیاز به توسعه را گوشزد می‌کند.

زمان انتظار انواع کشتی‌ها در وضعیت فعلی بسیار ناچیز است. با تغییر شرایط به سمت سناریوی دوم، به‌دلیل افزایش تعداد کشتی‌های ورودی در سایزهای بزرگ و متوسط، زمان انتظار این گروه‌ها شدیداً افزایش یافته و، به‌دلیل افزایش ضریب اشغال ناشی از ورود کشتی‌های بزرگ‌تر، زمان انتظار کشتی‌های کوچک و خیلی کوچک نیز افزایش یافته است. نسبت بسیار کم زمان انتظار به زمان سرویس در وضعیت فعلی (۰/۰۰۶) و وضعیت قبل از اِعمال تحریم‌ها (۰/۰۱۸) هیچ‌گونه توصیه‌ای را مبنی بر توسعهٔ منابع کانتینری بندر مطرح نمی‌کند. برای رسیدن به ظرفیت مطلوب که در طرح‌های جامع بنادر باید مدنظر قرار گیرد، نسبت مدت زمان انتظار یک شناور به مدت زمان سرویس‌دهی برای ترمینال‌های نفتی کمتر از ۰/۵، ترمینال‌های فله کمتر از ۰/۳، ترمینال‌های کالای عمومی کمتر از ۰/۲ و کمتر از ۰/۱ برای ترمینال‌های کانتینری باید در نظر گرفته شود[۲۰].

میزان عملیات و تعداد کشتی ورودی به بندر نیز طی دو سناریو نشان می‌دهد که، طی سناریوی دوم، تعداد کشتی‌های ورودی به بندر کاهش ۲۲ درصد کاهش یافته ولی سایز کشتی‌ها افزایش یافته است. با افزایش سایز و عملیات کشتی‌ها، ملاحظه می‌شود که میزان عملیات نیز حدود ۶۰ درصد افزایش خواهد یافت.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله نویسندگان سهمی یکسان داشتند..

تشکر و قدردانی *(اختیاری)*

مقالهٔ حاضر برگرفته از طرحی پژوهشی است که کارشناسان بندر شهید رجایی و شرکت‌های پورت اپراتوری بندر آن را در سال ۱۴۰۰ اجرا کرده‌اند. بدین‌وسیله از زحمات کارشناسان ادارهٔ امور کانتینر بندر شهید رجایی و شرکت‌های پورت اپراتور قدردانی و تشکر می‌شود.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

منابع

[1] Lattila, L. & Saranen, J., 2011, “Multimodal Transportation Risk in Gulf of Finland Region”. *World Review of Intermodal Transportation Research*; 3(4): 376-394 (19 pages).
https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/WRITR.2011.041719

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221705002341?via%3Dihub

[11] Nevins, M.; Macal, C.; Love, R. & Bargen, M., 1998, "Simulation, Animation and Visualization of Seaport Operations". *Simulation*; 71(2): 96-106 (11 pages).
https://www.osti.gov/biblio/942579

[12] Azimi, P. & Ghanbari, M.R., 2015, "Optimizing transportation of grain materials based on a simulation model Shahid Rajaei Port". *Journal of Industrial Management Studies*; 13(38): 133-161 (29 pages). (Persian).
https://jims.atu.ac.ir/article_1665.html

[13] He, J.; Huang, Y.; Yan, W. & Swang, S.h., 2015, "Integrated internal truck, yard crane and quay crane scheduling in a container terminal considering energy consumption". *Expert Systems with Applications*; 42(5): 2464-2487 (23 pages).
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417414007027?via%3Dihub

[14] CHEN, Ch.; HSU, WJ. & HUANG, ShY., 2004, *Simulation and Optimization of Container Yard Operations*. Nanyang Technological University, Singapore.

[15] Dundovic, C.; Bilic, M. & Dvornik, J., 2009, "Contribution to the Development of a Simulation Model for a Seaport in Specific Operating Conditions". *Traffic & Transportation*.; Vol. 21: 331-340 (10 pages).
https://traffic.fpz.hr/index.php/PROMTT/article/view/248

[16] Dvornik, J.; Munitic, A. & Bilic, M., 2006, "Simulation Modelling and Heuristics Optimization of Material Flow of the Port Cargo System". *Traffic &Transportation*.; Vol. 18: 123-135 (13 pages).
https://www.researchgate.net/publication/298579491_Simulation_Modelling_and_Heuristics_Optimization_of_Material_Flow_of_the_Port_Cargo_System

[17] Shahpanah, A.; Asl Hashemi, A.; Zahraee, S.M. & Helm, S.A., 2014, "Reduction of Ship Waiting Time at Port Container Terminal Through Enhancement of the Tug/Pilot Machine Operation". *The journal of Teknologi*; 68(3): 63-66 (4 pages).
https://journals.utm.my/jurnalteknologi/article/view/2931

[2] Branch, A.E., 1968, *Element of port Operation and Management*. Chapman & Hall, New York Publishing;: 254-290 (37 pages).
https://link.springer.com/content/pdf/bfm:978-94-009-4087-1/1.pdf

[3] Khatami Firouzabadi, A.; Olfat, L.; Mohtashami, A. & Rahimi Mazraeshahi, M., 2010, "Improving the operational capacity of Shahid Rajaei port using simulation and multi-criteria decision making". *Journal of Development and Transformation Management*; 2(4): 31-41 (11 pages). (Persian).
https://www.sid.ir/paper/205794/fa

[4] Hamidi, H., 2010, *Port Equipment Management*. Tehran: Asrase Danesh Publications. First Edition;. (Persian).
http://marineman.ir/wp-content/uploads/2015/07/33.pdf

[5] Gheisari S., 2008, *The Solution for Reforms in Ports*. Hamidi H (Author). Tehran: Asrase Danesh Publications. First Edition;. (Persian).
https://www.gisoom.com/book/1988753

[6] Constantinides, M., 1990, *Economic Approach to Equipment Selection and replacement*. UNCTAD.; 494(8).
https://unctad.org/system/files/official-document/ship4948_en.pdf

[7] The website of the Ports and Maritime Organization. Available from: http://www.pmo.ir

[8] Solomenikovs, A., 2006, *Simulation modelling and research of marine container terminal logistics chains*. [dissertation]. Promotional work for scientific degree of Doctor of Engineering in Telematics and Logistics.
https://docplayer.net/60239436-Simulation-modelling-and-research-of-marine-container-terminal-logistics-chains.html

[9] Ghanbari, M.R., 2011, "Application of simulation in improving the performance of container ports". The first national maritime and shipping conference: Chabahar, Iran. (Persian)
https://civilica.com/doc/142331

[10] Bielli, M., 2006, "Boulmakoul A, Rida M. Object Oriented Model for Container Terminal Distributed Simulation". *European Journal of Operational Research*; Vol. 175: 1731-1751 (21 pages).

[18] Henesey, L.; Davidsson, P. & Persson, JA., 2006, *Using simulation in evaluating berth allocation at a container terminal*. Blekinge institute of technology. https://www.researchgate.net/publication/30499320

[19] Ghanbari, MR.; Azimi, P. & Abdollahi, F., 2012, "Simulation-Based Optimization in Performance Evaluation of Marshaling Yard Storage Policy in a Container Port". *World Academy of Science, Engineering and Technology*; 67: 1249-1256 (8 pages). https://www.researchgate.net/publication/280598139

[20] Studies of Phase 2 of Shahid Rajaei Port Master Plan. Chapter 3: Identification and comprehensive analysis of the current port situation. 2018. (Persian).

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

Faghiri, I., Ph.D. in environment, Islamic Azad University, Qeshm Branch, Qeshm, Iran
✉ *iraj.faghiri@gmail.com* 0000-0001-5669-3246

Hallaj, M., M.SC. in Maritime Transportation Engineering, Amirkabir University of Technology, Bandarabbass, Iran
✉ *mohsen_hj@yahoo.com* 0000-0001-9702-6853

Ranjbar, M. A., M.SC. in Business Management, Islamic Azad University, Qeshm Branch, Qeshm, Iran
✉ *aminmranjbar@yahoo.com* 0000-0002-1685-6255

این قسمت توسط نشریه تکمیل می‌گردد:

HOW TO CITE THIS ARTICLE
http://doi.org/10.52547/joc.14.54.3
http://joc.inio.ac.ir/ article-1-1743-fa.html
https://orcid.org/0000-0001-9702-6853

COPYRIGHTS
©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.