مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال بیست و یکم، شماره اول (پیاپی ۸۰)،بهار ۰۳، ص ص ۱۵۲-۱۲۷
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

مدلسازی تخلیه و بارگیری کانتینر در بندرگاه با استفاده از بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی

مینا جعفری[۱]، حسین عموزاد خلیلی[۲*]، زهرا سعیدی[۳]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲- استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران
۳- استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

رسید مقاله: ۲۵ شهریور ۱۴۰۱
پذیرش مقاله: ۱۹ بهمن ۱۴۰۱

چکیده
اهمیت بنادر به عنوان یک معبر ورود و خروج کالا و مبدا و مقصد اقتصادی‌ترین شیوه حمل و نقل یعنی حمل و نقل دریایی بر ما پوشیده نیست. در این تحقیق با هدف ارزیابی عملکرد سیستم تخلیه و بارگیری کانتیرها در بندر با استفاده از ابزار شبیه‌سازی، ضمن غلبه بر پیچیدگی مساله از حیث انجام محاسبات ریاضی قصد داریم با چارچوب پیشنهادی بر زمان‌بر بودن اجراهای شبیه‌سازی نیز غلبه نماییم. برای این منظور، با استفاده از بهینه‌سازی مدل شبیه‌سازی و با بهره‌گیری از طراحی آزمایش‌ها و برآورد سطح پاسخ مناسب، مدل ریاضی مناسب متناسب‌سازی شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که چگونه یک تحلیل‌گر می‌تواند به سادگی با استفاده از روش بهینه‌سازی مدل‌های شبیه‌سازی شبه مدل محور، مساله موجود در یک سیستم پیچیده را حل نماید. با استفاده از متغیرهای اثرگذار در فرآیند، طراحی آزمایشات و همچنین تکنیک‌های اعتبارسنجی، یک شبه مدل به عنوان تابع هدف مساله تقریب‌زده شده است. نتایج حاصل از اعتبارسنجی مقادیر فضای آزمایش نشان داد که کارایی مدل پیشنهادی ما به حد کافی قابل قبول است. با استفاده از ترکیب شدنی متغیرها بیشترین تعداد کانتینرهای بارگیری و تخلیه‌شده در بندر شهید رجایی نشان‌دهنده آن است که می‌توان از طریق جایگزینی ترکیب بهینه موجب بهبود در عملکرد سیستم مدنظر گردید.

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی، سیستم تخلیه و بارگیری، بهینه‌سازی، ارزیابی.

۱ مقدمه

یک بندر باید در کاهش زمان توقف کشتی، ایجاد سیستم انبار با طراحی و برنامه‌ریزی دقیق، سیستم جابجایی به موقع کالا توسط کامیون‌ها در بندر و به خارج از بندر و هماهنگی آنها با قطار، سیستم تغذیه‌رسانی و سایر موارد لجستیکی کارا در تلاش باشد [۱]. این موارد نقش مهمی در حفظ برتری بنادر در میدان رقابت و بهره‌وری آنها

* عهده‌دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی: amoozad92@yahoo.com

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]

خواهند داشت. در این میان ترمینال‌های کانتینری در بنادر، حد فاصلی بین دریا و ساحل، زنجیره جهانی حمل و نقل کالا را تشکیل می‌دهند [۲]. تسهیلات لجستیکی این ترمینال‌ها با یک افزایش تقاضا در زمینه حجم سرویس‌دهی به مشتریان، روبه‌رو گردیده است، آنچنان که یک رشد سالانه چشمگیری در جابجایی کانتینر منعکس و مخابره شده است [۳]. با علت پیشرفت و توسعه تجارت، رقابت بین ترمینال‌های کانتینری واقع شده در یک منطقه، بسیار زیاد شده است. مشتریان یک ترمینال که یک سطح کیفیت سرویس‌دهی بالایی را انتظار دارند، ترمینالی را در اولویت انتخاب خود قرار می‌دهند که این سرویس‌دهی در آنها، از اعتماد و پایایی بالایی برخوردار باشد [۴].

یکی از مشخصه‌های اصلی توسعه اقتصادی در قرن حاضر جهانی‌سازی تجارت می‌باشد، که به واسطه خود، افزایش تقاضا برای جابه‌جایی مردم، کالاها و سرویس‌های مختلف، در طول مرزهای جغرافیایی را به ارمغان آورده است [۵]. در این میان بنادر عامل مهم لجستیکی در جابجایی کالا می‌باشند و از آنجا که فعالیت‌های لجستیکی و حمل و نقل کالا در بنادر نقش مهمی را در اقتصاد و مبادلات تجارت جهانی ایفا می‌کنند، از آنها به‌عنوان اعضای اصلی زنجیره حمل و نقل یاد می‌گردد [۶، ۷]. از این رو ارزیابی کارایی بنادر مورد توجه تمامی گروه‌های مرتبط با آن می‌باشد. یک بندر باید در کاهش زمان توقف کشتی، ایجاد سیستم انبار با طراحی و برنامه‌ریزی دقیق، سیستم جابجایی به موقع کالا توسط کامیون‌ها در بندر و به خارج از بندر و هماهنگی آنها با قطار، سیستم تغذیه رسانی و سایر موارد لجستیکی کارا در تلاش باشد [۸]. این موارد نقش مهمی در حفظ برتری بنادر در میدان رقابت و بهره‌وری آنها خواهند داشت [۹]. در این میان ترمینال‌های کانتینری در بنادر، حد فاصلی بین دریا و ساحل، زنجیره جهانی حمل و نقل کالا را تشکیل می‌دهند [۱۰].

هم اکنون فعالیت‌های بنادر کانتینری به‌عنوان یکی از پیچیده‌ترین شاخه‌های صنعت حمل و نقل در نظر گرفته می‌شود. این پیچیدگی از ماهیت کنش متقابل در میان عوامل مختلف درگیر در روند واردات و صادرات کانتینر، چه از لحاظ فیزیکی و چه از لحاظ اطلاعاتی در بنادر ناشی می‌شود [۱۱]. از سویی، در بسیاری از بنادر حجم حمل و نقل کانتینری شدیدا در حال رشد و توسعه است و ترمینال‌های موجود با ظرفیت کنونی جوابگوی این رشد سریع نخواهند بود مگر اینکه همگام با این رشد تجهیزات و کارایی بنادر نیز توسعه پیدا کند [۱۲]. لذا با توجه به ورودی و تجهیزاتی که برای ترمینال در حالات مختلف در نظر گرفته می‌شود خروجی‌ها و بروندادهای متفاوتی خواهد داشت، که باید به گونه‌ای سازماندهی گردد که بهترین کارایی و بهره‌وری به دست آید [۱۳، ۱۴]

در این تحقیق به بهینه‌سازی عملیات تخلیه و بارگیری کالای کانتینری در شرایط موجود در بندر پرداخته شد. اگر همچون گذشته جهت بهینه کردن عملیات‌های بندری از شیوه‌های آماری و ریاضی و تحلیلی استفاده شود مسایل فراوانی به‌دنبال خواهد داشت. محاسبات طولانی و طاقت فرسا و پیچیده ریاضی از یک سو و زیر ساخت‌های پیچیده پایانه‌های کانتینری از سوی دیگر استفاده از این شیوه را مشکل کرده است. از طرف دیگر، تست واقعی شرایط مختلف با توجه به‌عوامل مختلف موجود در پایانه باعث اختلال در کار پایانه می‌شود. به‌علاوه این روش موجب صرف زمان و هزینه بالایی می‌باشد به همین علت از روش تجربی و ارزیابی در حالت

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]

واقعی استفاده نمی‌گردد. لذا با توجه به روش‌های فوق، شبیه‌سازی روشی ساده‌تر از روش‌های دیگر است و هم این‌که نسبت به سایر شیوه‌ها نیاز به زمان و هزینه بسیار اندکی دارد [۱۵].

هدف پژوهش، ارزیابی روند فعلی عملیات تخلیه و بارگیری کانتینری در بندر و تعیین فاکتورهای کلیدی برای جابجایی محموله‌ها در بهترین حالت ممکن می‌باشد. لازم به ذکر است که تعیین ظرفیت بهینه فاکتورهای کلیدی پایانه‌های کانتینری در بنادر یک موضوع مهم بوده است، از طرفی فعالیت‌ها و استراتژی‌های مدیریتی در محوطه انبار کانتینری در نهایت در کارایی عملی و هزینه فعالیت‌های کل پایانه تاثیر می‌گذارد. نتیجه حاصل از ارزیابی‌های به‌دست آمده از مدل‌سازی و نهایتا شبیه‌سازی عملیات و فرایندهای موجود در پایانه کانتینری، انتظار می‌رود تاثیر به‌سزایی در روند کاری پایانه خواهد داشت به گونه‌ای که به‌کارگیری این نتایج باعث بالا رفتن حجم تخلیه و بارگیری بندر در زمان کمتر خواهد شد. استفاده از شبیه‌سازی، نتایجی همانند بهینه عملکرد تجهیزات، کاهش استفاده غیرمفید از آنها، کاهش هزینه‌های بندر، کاهش زمان تخلیه و بارگیری کشتی‌ها، کاهش زمان انتظار کشتی‌ها و نهایتا بالا رفتن سرعت عملیاتی بندر و بهره‌وری بالاتر را به‌دنبال خواهد داشت، که این بهره‌وری بالا توام با رضایت صادرکنندگان و واردکنندگان کالا خواهد بود. در ادامه در بخش دوم به بررسی ادبیات تحقیق پرداخته می‌شود. در بخش سوم روش تحقیق و مدل ارایه می‌گردد. در بخش چهارم نتایج تحقیق و مطالعه موردی بررسی می‌گردد و در نهایت در بخش پنجم نتیجه‌گیری تحقیق ارایه می‌شود.

۲ ادبیات تحقیق

سیستم جامعه بندری یک سیستم واسط جهت تسهیل ارتباط میان ذینفعان بندری و بهینه‌سازی روش‌های تبادل اسناد در این جامعه می‌باشد. این سیستم می‌تواند باعث شود تا شفافیت جریان انتقال کالا و کانتینر برای صاحبان کالا افزایش یابد و بستری را فراهم سازد تا ازدحام، ترافیک و آلودگی بنادر به شدت کاهش یابد. با استفاده از این سیستم مدیران و ذینفعان بندر می‌توانند جریان اطلاعاتی را بهبود بخشند و خدمات مناسب‌تری را به مشتریان خود ارایه دهند. این امر نیز باعث بهبود عملکرد فعالان جامعه بندری خواهد شد.

قندهاری و همکاران [۱] شبیه‌سازی سیستم تخلیه و بارگیری انبار محصولات فولادی کارخانه‌ی ذوب آهن اصفهان را مورد بررسی قرار داده‌اند. راهکارهای قابل اجرا، برای کاهش زمان‌های ماند و معطلی تریلرهای ورودی به کارخانه، برای بارگیری محصولات نهایی بررسی کرده‌اند. بر اساس زمان‌های ثبت‌شده در سسیستم انبارش و ترخیص کارخانه، زمان‌های معطلی در خطوط بارگیری، بیش‌ترین سهم از اتلافات زمانی را به خود اختصاص می‌دهد. به همین علت تمرکز این تحقیق بر روی خطوط موجود قرار گرفته است. پس از انجام زمان‌سنجی از باراندازها و ایستگاه‌های مختلف برای دستیابی به فاکتورهای سیستم مورد مطالعه، سیستم مذکور در قالب نرم افزار ارنا ۱۴ شبیه‌سازی گردیده و نهایتاً سناریوهایی که زمان‌های انتظار را به میزان معناداری کاهش می‌داد، به لحاظ اقتصادی مورد مقایسه و اولویت‌بندی قرار گرفته است.

ابراهیمی و همکاران [۲] در تحقیق خود مدل VRP با هزینه‌ی بارگیری و تخلیه را بررسی کرده‌اند و از سوی دیگر با توسعه‌ی دو تابع هدف، ایجاد توازن در فواصل سفر وسایل نقلیه مورد استفاده و هم‌چنین ایجاد

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]

توازن در بارهای تخصیص‌یافته به وسایل نقلیه را به طور توام مدنظر قرار داده‌اند. برای حل، الگوریتم جستجوی پراکنده ی چندهدفه را برای به‌دست آوردن جواب‌های بهینه چیره پیشنهاد داده‌اند. نتایج محاسبه‌ای نشان داده که الگوریتم پیشنهادی برتر از سایر الگوریتم‌ها از جمله MOPSO و MODE در بیشتر نمونه‌ها و هم‌چنین اکثر شاخص‌های کارایی است.

شیخ الاسلامی و همکاران [۳] در این مقاله اهمیت زمان‌بندی جرثقیل‌اسکله در افزایش سرعت تخلیه و بارگیری تشریح می‌شود و تحقیقات انجام‌شده در زمینه زمان‌بندی جرثقیل اسکه و برخی مدل‌های آن ارایه می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش ابعاد کشتی‌های کانتینربر، زمان ماندن کشتی‌های کانتینری در اسکله افزایش یافته است. در نتیجه بالا بردن بازدهی جرثقیل‌ها، تبدیل به یک مساله مهم برای کارشناسان و محققان شده است. یکی از راه‌های افزایش بهره‌وری، بهبود کارایی عملیات کنار دریاست که زمان‌بندی جرثقیل اسکله یکی از آن‌هاست.

کیمپانو و همکاران [۱۲] در مطالعه خود یک مدل شبیه‌سازی گسسته پیشامد را برای تجزیه و تحلیل تخلیه و بارگیری، حمل و نقل و ذخیره‌سازی مواد در بزرگ‌ترین پالایشگاه آلومینای اروپا، معرفی کردند. با ویژگی‌های جدید مانند ادغام قابلیت تخلیه اضافی، واحدهای زیرساختی کمکی و همچنین برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری کارآمد در زنجیره پردازش مواد، از این مدل برای پیش‌بینی و ارزیابی افزایش عملکرد در سیستم بندر در برنامه‌ریزی بلند مدت استفاده می‌شود. همچنین، سناریوهای سرمایه‌گذاری و برنامه‌ریزی امیدوار کننده‌ای برای ابعاد استراتژیک از نظر شاخص‌های عملکردی در مقیاس بزرگ مانند اشغال اسکله و هزینه‌ها در این مطالعه مشخص شده است. [۱۳] مدل‌های شبیه‌سازی پایانه‌های کانتینری را مرور کردند و توضیح دادند که اندازه زیاد امکانات و پیچیدگی تجهیزات مورد استفاده، پیش‌بینی تحلیلی نحوه کار پایانه‌های کانتینری را با چیدمان‌ها و تنظیمات خاص دشوار می‌کند. دراگوویچ و همکاران [۱۵] تمام مطالعات شبیه‌سازی مربوط به عملیات بندر را از سال ۱۹۶۱ بررسی می‌کنند و نتیجه می‌گیرند که در ۵۰ سال گذشته استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی به‌طور فزآینده‌ای مورد علاقه و ابزاری در توسعه بنادر و به‌طور خاص پایانه‌های کانتینری بوده است. در ادبیات توجه به زمانبندی جرثقیل‌ها مطالعه نشده است. به‌منظور مقابله با پیچیدگی زمان‌بندی جرثقیل، شبیه‌سازی به‌عنوان ابزاری برای بررسی مشکل در نظر گرفته شده است، برای مثال، هسنی [۱۶]، یک مطالعه شبیه‌سازی جامع را برای مقایسه اثرات چهار سیستم جرثقیل خودکار بر نحوه ذخیره‌سازی کانتیر در انبار را برای بررسی عملکرد پایانه‌های کانتینری در بندر توسعه می‌دهد.

از جمله روش‌های دیگر که مورد استفاده قرار گرفته است چارچوب سلسله مراتبی برای تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب خدمات بندر می‌باشد. اوگبوما [۳۵]، یک نظرسنجی برای تعیین ویژگی‌های خدماتی که حمل کنندگان هنگام انتخاب بندر مهم می‌دانند و نحوه اولویت بندی این ویژگی‌ها با توجه به اهمیت آنها ارایه می‌دهند. هفت معیار برای تصمیم‌گیری انتخاب بندر مشخص شد و مساله تصمیم‌گیری با استفاده از فرآیند تحلیلی سلسله مراتبی در یک سلسله مراتب سه سطحی قرار گرفت. یافته‌ها نشان می‌دهد که حمل‌کنندگان بر کارایی، دفعات بازدید از کشتی و زیرساخت‌های کافی تاکید می‌کنند، در حالی که پاسخ سریع به نیازهای

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]

کاربران بندر برای آنها بی اهمیت است. نتایج حاصل از این مطالعه مورد توجه مدیران بنادر قرار گرفته است زیرا آنها اطلاعات اساسی را در مورد عوامل کلیدی که در روند تصمیم‌گیری کاربران بندر وارد می‌شوند، ارایه می‌دهند، بنابراین نقاط قوت و ضعف بنادر را شناسایی می‌کنند.

روی و کاستر [۲۹] با استفاده از شبکه‌های صف، یک مدل تصادفی یکپارچه جدید برای تجزیه و تحلیل عملکرد عملیات بارگیری و تخلیه ایجاد نمودند که فعل و انفعالات تصادفی پیچیده بین فرآیندهای اسکله، وسیله نقلیه و پهلو را مورد بررسی قرار می‌دهد. مدل تحلیلی با استفاده از الگوریتم فراابتکاری تکراری مبتنی بر رویکرد تقریب تجزیه پارامتریک حل می‌شود. عملکرد سیستم در سطوح مختلف ترافیک کانتینر آزمایش می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که درصد خطاهای مطلق در زمان‌های تولید در مقایسه با شبیه‌سازی برای همه موارد کمتر از ۱۰٪ است. این مدل عمومی و قابل دستیابی برای سایر اقدامات طراحی و عملکرد عملیاتی است.

روی و همکاران [۳۱] با استفاده از یک مدل شبکه صف بسته، جریان ترافیک را به‌طور دقیق مدل کردند. حمل و نقل داخلی بندر را با استفاده از یک سرور وابسته به بار مدل‌سازی می‌کنند که تعامل بین تعداد وسایل نقلیه در یک بخش حمل و نقل و سرعت موثر خودرو را ثبت می‌کند. با استفاده از این مدل جریان ترافیک غیر خطی، نشان داده شده است که کاهش توان تولیدی ناشی از تراکم خودرو می‌تواند تا ۸۵٪ باشد.

جابجایی کارآمد کانتینرها در یک ترمینال می‌تواند باعث کاهش زمان کل توقف کشتی در بندر و به حداقل رساندن هزینه‌های عملیاتی آن شود. حمل و نقل داخلی کانتینرها در این ترمینال‌ها عموما توسط وسایل نقلیه‌ای انجام می‌شود که مسیر هدایت مشترکی دارند. ظرفیت تولید یک ترمینال ممکن است با افزایش تعداد وسایل نقلیه افزایش یابد. با این حال، ازدحام همزمان می‌تواند سرعت مؤثر وسایل نقلیه را کاهش دهد. برای مثال، کریس و همکاران [۲۲]، یک مساله برنامه‌ریزی برای دو جرثقیل دروازه‌ای در حال حرکت بر روی ریل‌های مشابه در یک بانبار ذخیره‌سازی ارایه می‌دهند. کانتینرهایی که از ساحل بارگیری می‌شوند باید در انبار ذخیره شوند و ظروفی که قبلاً در محل ذخیره‌سازی در ابتدای افق برنامه‌ریزی ذخیره شده‌اند، باید در پنجره‌های زمانی مشخص به محل تحویل کنار بندر تحویل داده شوند. هدف در نظر گرفته شده در این مطالعه به حداقل رساندن میزان پردازش تخلیه و بارگیری کانتینر است. برای این منظور، یک الگوریتم برنامه‌ریزی پویا (DP) و یک روش ابتکاری مرتبط ارایه داده شده است. روش DP از تکنیک‌های محدودکننده استفاده می‌کند و از خصوصیات غلبه راه‌حل‌های بهینه استفاده می‌کند. محاسبات نشان می‌دهد که روش DP به وضوح از CPLEX بهتر عمل می‌کند و قادر است به سرعت نمونه‌هایی را به‌طور واقعی‌تر حل کند. همچنین، روش ابتکاری نشان داده است که می‌تواند به سرعت راه‌حل‌های روش‌های ابتکاری را که قبلاً در ادبیات معرفی شده است، بهبود بخشد. کریس و همکاران [۲۳]، به یک مساله بهینه‌سازی که در بنادر دریایی رخ می‌دهد، می‌پردازند که در آن کانتینرها بین مناطق انباشته و مناطق بافر کوچک با ظرفیت محدود که در دسترس جرثقیل‌های اسکله قرار دارند، حمل می‌شوند. کانتینرها توسط باربرهای استرادل حمل می‌شوند که باید به گونه‌ای هدایت شوند که توالی تخلیه و بارگیری کانتینرها در جرثقیل های اسکله رعایت شود. هدف به حداقل رساندن زمان چرخش کشتی ها است. در این مقاله، پیچیدگی محاسباتی مساله را براساس ارایه یک برنامه‌ریزی عدد صحیح تجزیه و تحلیل می‌کنیم، و

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]

یک چارچوب ابتکاری را پیشنهاد می‌کنیم که مبتنی بر تجزیه مساله به جزء مسیریابی آن و مؤلفه‌ای است که متغیرهای زمانی و ظرفیت‌های بافر را مدیریت می‌کند. چارچوب در آزمون‌های محاسباتی که بر اساس داده‌های دنیای واقعی است، تجزیه و تحلیل می‌شود. لی و همکاران [۲۵]، در این مقاله برنامه‌ریزی و زمان‌بندی سیستم‌های لجستیک ترمینال کانتینری را از نظر پیچیدگی محاسبات تعمیم‌یافته لجستیک بر اساس تفکر محاسباتی، اصول عالی محاسبات، مورد بحث قرار می‌گیرند و تعریفی از پیچیدگی محاسباتی تعمیم‌یافته لجستیک ترمینال‌گرا و لجستیک ترمینال کانتینری، یک دیدگاه عملکردی جامع محاسباتی را از ابعاد زمان، مکان، ارتباطات، پردازشگر و دسترسی به حافظه تعمیم داده است. بریسکورن [۹]، یک مشکل فرعی را در نظر گرفته است که زمانی ایجاد می‌شود که هر جرثقیل دنباله‌ای از وظایف را دارد که باید به آن در یک بندر اختصاص داده شوند. مساله مربوط به حل تداخل بین دو جرثقیل با تعیین این است که کدام جرثقیل از دیگری اجتناب می‌کند تا بتواند کار بعدی خود را اول انجام دهد. برای حل این منظور، یک چارچوب برنامه‌نویسی پویا کلی ارایه شده است که به ما امکان می‌دهد تمام نسخه‌های مساله را در زمان شبه چند جمله ای حل کنیم. خو و ژو [۳۸]، با هدف حل مساله زمان‌بندی جرثقیل‌های انباشته خودکار دوقلو (ASC) در یک بلوک منفرد از ترمینال کانتینری خودکار، حل تداخل بینASC ها چارچوبی را ارایه داده‌اند. برای حل این مساله، یک الگوریتم ژنتیک تطبیقی دو مرحله‌ای (AGA)بر اساس یک مدل تئوری گراف پیشنهاد شده است. مرحله اول الگوریتم با تنظیم ترتیب عملیات کانتینر، تضادها را تا حد ممکن کاهش داد. در مرحله دوم، زمانی که تعارض اجتناب‌ناپذیر است، تعارض با تبدیل تضادها به نمودارهای موانع حل می‌شود. هو و همکاران [۱۷] یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط (MILP)را فرموله می‌کند تا محل جرثقیل های دوقلو را به گونه‌ای برنامه‌ریزی کند تا زمان انجام وظایف آنها را به حداقل برساند. فرمول پیشنهادی فاصله زمانی ایمن را برای جلوگیری از برخورد جرثقیل در طول حرکات جرثقیل مجاور در نظر می‌گیرد. برای حل این مدل، یک الگوریتم ژنتیک با یک طرح رمزگشایی مبتنی بر اولویت برای بهینه‌سازی توالی عملیات ارایه داده‌اند. آزمایش‌های عددی ثابت کرده که فاصله زمانی ایمن بر موقعیت جرثقیل‌ها تاثیر می‌گذارد.

با توجه به پیشینه بررسی‌شده از موضوع اصلی تحقیق، از آنجایی که صنعت لجستیک دریایی بسیار کاربردی است و منظور از هدف کاربردی در کارهای تحقیقاتی، کاربرد داشتن آن در دنیای واقعی است، به‌عنوان مثال، معیارهای طبقه‌بندی مسایل را نه تنها از بعد روش حل مساله بلکه از دیدگاه کاربردی نیز مورد بررسی قرار می‌دهیم. از منظر روش حل مساله، پنج حالت را به شرح زیر طبق ادبیات پیشنهاد می‌کنیم که لازم است در این تحقیق این روش‌های حل را مورد بررسی قرار دهیم:

حالت ۱، بهینه‌سازی با پشتیبانی از شبیه‌سازی یا (شبیه‌سازی برای خروجی بهینه‌سازی): از مدل ارزیابی برای ارزیابی خروجی یک مساله بهینه‌سازی استفاده می‌شود. در برخی موارد، از خروجی شبیه‌سازی به‌عنوان معیار عملکرد استفاده می‌شود.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]

جدول ۱. طبقه‌بندی مقالات

نویسنده	ابزار مطالعه				هدف					روش حل			
	شبیه‌سازی گسسته پیشامد	برنامه ریزی پویا	شبکه صف	تصمیم گیری	تخلیه	بارگیری	حمل و نقل	ذخیره سازی	جریان بار ترافیک	فراابتکاری	قطعی	سلسله مراتبی	بهینه سازی شبیه‌سازی
[۳۵]				•								•	
[۲۴]	•					•							
[۱۹]	•							•					
[۱۲]	•				•	•	•	•					
[۳۱]			•				•		•				
[۲۹]			•		•	•				•			
[۲۲]		•			•	•				•		•	
[۲۳]		•			•	•				•		•	
[۲۵]		•					•			•			
[۱۱]		•			•	•					•		
[۱۷]		•			•	•					•		
تحقیق حاضر	•				•	•					•		•

حالت ۲، بهینه‌سازی با پشتیبانی شبیه‌سازی (شبیه‌سازی برای ورودی بهینه‌سازی): شبیه‌سازی برای تهیه ورودی برای یک مساله بهینه‌سازی استفاده می‌شود، که به معنی تولید یک راه‌حل اولیه یا مقداردهی اولیه پارامترها است.

حالت ۳، تکرار بهینه‌سازی شبیه‌سازی: شبیه‌سازی و بهینه‌سازی یک حلقه را تشکیل می‌دهد و برای به روزرسانی پارامترهای یکدیگر به صورت تکراری اجرا می‌شوند، تا زمانی که شرایط ختم، مانند حداکثر تعداد تکرار، برآورده شود.

حالت ۴، بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی: بهینه‌سازی کل فرآیند محاسبه را هدایت می‌کند و شبیه‌سازی بخشی از بهینه‌سازی است. الگوریتم بهینه‌سازی (معمولاً فراابتکاری) از راه‌حل (ها) نمونه‌برداری می‌کند و یک راه‌حل بهینه را پیدا می‌کند، در حالی که شبیه‌سازی راه‌حل (های) به‌دست آمده توسط الگوریتم بهینه‌سازی را ارزیابی می‌کند. این روش با بهینه‌سازی و دستیابی به معیارهای خاص خاتمه می‌یابد.

حالت ۵، شبیه‌سازی تعبیه‌شده در بهینه‌سازی: شبیه‌سازی کل فرآیند را هدایت می‌کند و بهینه‌سازی بخشی از شبیه‌سازی است. یک مدل شبیه‌سازی عملکرد سیستم‌های پیچیده را شبیه‌سازی می‌کند. در حین اجرا، بهین‌سازی برای تصمیم‌گیری در نقاط خاص آغاز می‌شود. کارایی رویکرد بهینه‌سازی برای تصمیم‌گیری در زمان واقعی ضروری است. رویکرد با پایان یافتن شبیه‌سازی خاتمه می‌یابد.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]

۳ روش تحقیق

از حیث دسته‌بندی تحقیق برحسب هدف، این تحقیق یک تحقیق کاربردی محسوب می‌شود. چرا که هدف این تحقیق افزایش دانش در موضوعی است که در عمل می‌تواند مورد استفاده مشخصی داشته باشد. ارزیابی عملکرد سیستم تخلیه و بارگیری کانتینرها در بندر شهید رجایی با استفاده از ابزار شبیه‌سازی موضوع اصلی تحقیق است. این تحقیق از نظر نوع، یک تحقیق کمی-کیفی به‌شمار می‌رود. بنابراین، از حیث شناسایی علل تاخیر از طریق بررسی اسناد بایگانی‌شده و در میان گذاشتن آنها با خبرگان حوزه تحقیقاتی و تحلیل نتایج به‌دست آمده، به شناخت متغیرهای کیفی اقدام می‌شود. اما در سایر قسمت‌های تحقیق، کمی می‌باشد. ماهیت روش در این تحقیق، در زمره روش‌های آماری و ریاضی است، بنابراین ارایه روش حل مساله، باید در چارچوب پاسخگویی به فرضیات آماری مطرح شده باشد. فرآیند مدل‌سازی شبیه‌سازی به‌عنوان جایگزینی برای بازگو کننده رفتار واقعی سیستم یک فرآیند خلاقانه است و پژوهشگر دائما از آن برای تحلیل عملکرد و به‌جای اجرای آزمایشات در دنیای واقعی، به‌منظور حرکت رو به جلو از مفاهیم و ایده اساسی به سمت کاربرد و محاسبه و بازگشت و اصلاح ایده‌های اولیه از آن استفاده می‌کند. اگر حرکت از ایده اساسی به سمت کاربرد و محاسبه با مشکل مواجه شود و نتوان مدل شبیه‌سازی قابل اتکایی برای تحلیل براساس ایده اولیه ارایه داد ناگزیر باید به ایده اولیه برگشت و آن را به نحوی اصلاح کنیم تا امکان ارایه یک مدل محاسباتی شبیه‌سازی فراهم گردد. دشواری کار به همین جا ختم نمی‌شود. پس از ارایه مدلی که تصور می‌شود منعکس‌کننده رفتار سیستم واقعی است ناگزیر باید برخی ویژگی‌های حداقلی در مورد مدل را بررسی کنیم. به‌عنوان نمونه نتایج مدلی که اختلاف معنی‌داری با داده‌های واقعی داشته باشد و نتوان نشان داد که اختلاف معنی‌داری ندارد از ارزش چندانی برخوردار نیست. روش جمع‌آوری اطلاعات در این تحقیق به صورت کتابخانه‌ایی انجام می‌گیرد. و برای گردآوری داده‌ها با افراد خاص برای جمع‌آوری مستقیم اطلاعات سروکار داریم. در طول تحقیق همواره اجراکنندگان ملزم به اجرای قانون و اخلاق حرفه‌ایی در برابر اسناد طبقه‌بندی‌شده هستند. علاوه بر این، گردآوری کتابخانه‌ایی، از مطالعه میان منابع تئوریک داخلی و خارجی اعم از مقالات مجله‌ایی معتبر سال‌های اخیر، مقالات کنفرانسی، رساله‌های انجام‌شده در سایر دانشگاه‌ها و کتاب‌های حوزه شبیه‌سازی و انجام می‌گیرد.

در این تحقیق برای توسعه مدل شبیه‌سازی از نرم افزار قدرتمند ®Arena نسخه ۱۴.۰ استفاده شده است. به منظور تعریف هر ماژول در مدل شبیه‌سازی لازم است اطلاعات کافی جمع‌آوری شود. به کمک داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از ابزار ®Input Analyzer توزیع احتمال مناسب هر یک از فرآیندها جداگانه تعیین شده است و به‌عنوان ورودی در اختیار مدل شبیه‌سازی برای اجرای مدل قرار داده شده است.

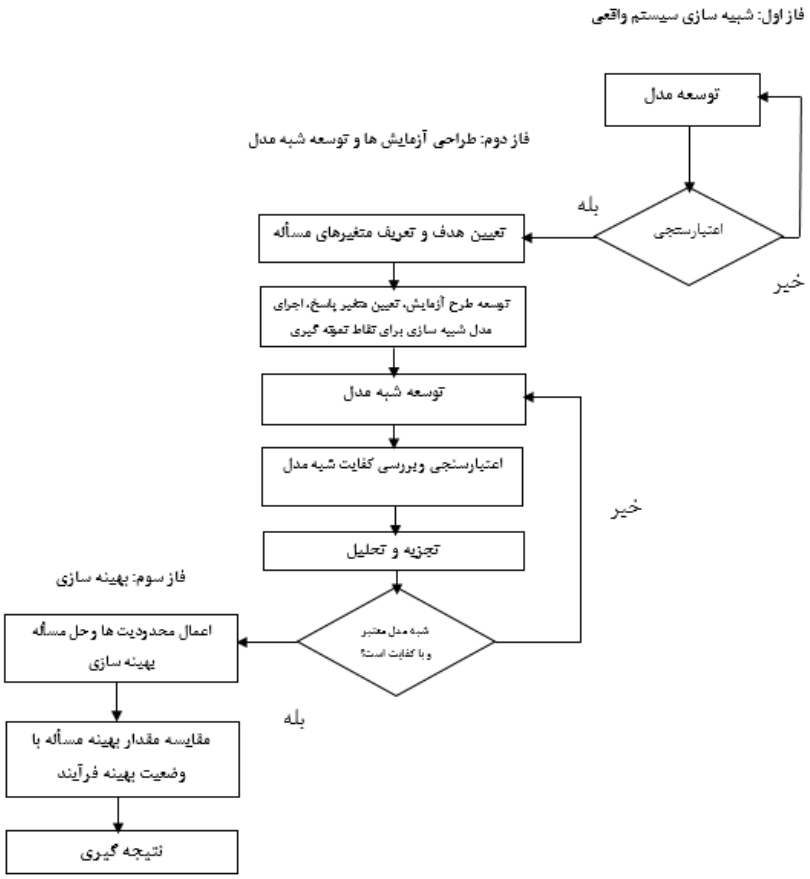
با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی ®Arena یک مدل شبیه‌سازی گسسته پیشامد به‌منظور اجرای سناریوهای طراحی‌شده برای تحلیل عملکرد سیستم واقعی و همچنین صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌های ناشی از مختل کردن عملکرد سیستم واقعی هنگام انجام سناریوهای طراحی‌شده برای حل مساله ساخته شده است. یکی از اقدامات بسیار مهم در خصوص مدل شبیه‌سازی طراحی‌شده، روشن شدن این موضوع است که آیا اجراکنندگان تحقیق، مدل را به‌درستی طراحی کرده‌اند یا خیر؟ روش‌های رایجی برای انجام این مهم وجود دارند که عموما از طریق

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]

مقایسه نتایج داده‌های خروجی مدل شبیه‌سازی با داده‌های واقعی سیستم جاری و با استفاده از تحلیل‌های آماری مانند استفاده از آماره t انجام می‌شوند.

در شکل ۱ مراحل چارچوب پیشنهادی نشان داده شده است. بر اساس چارچوب پیشنهادشده قادر هستیم طی سه فاز به طور هم‌زمان ضمن انجام عملیات شبیه‌سازی، بهینه‌سازی زیرفرآیند در نظر گرفته شده در مطالعه موردی به انجام برسانیم. در ادامه جزییات مدل پیشنهادی به طور جداگانه توضیح داده شده است.



شکل ۱. چارچوب فرآیند پیشنهادی

٤ نتایج عددی

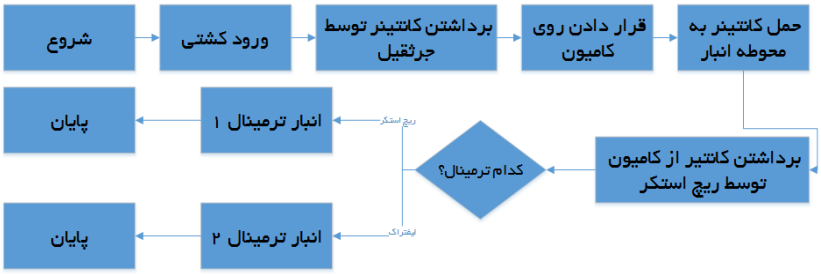
٤-١ معرفی جزییات سیستم

منطقه ویژه اقتصادی بندر شهید رجایی در ۲۳ کیلومتری غرب بندرعباس در شمال جزیره قشم و تنگه هرمز واقع شده است و با داشتن روابط دریایی و مبادله کالا با ۸۰ بندر معروف بین المللی تقریبا نیمی از تجارت ایران را بر عهده دارد. منطقه ویژه اقتصادی بندر شهید رجایی در مرکز کریدور ترانزیتی جنوب به شمال قرار دارد که یکی از مهم‌ترین کریدورهای ترانزیتی بین المللی در دنیاست. این کریدور اقیانوس هند و خلیج فارس را از طریق ایران به دریای خزر و سپس از طریق روسیه به سن پترزبورگ و شمال اروپا متصل می‌کند.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]

موقعیت ممتاز جغرافیایی، دسترسی به آب‌های آزاد جهان از طریق خلیج فارس، اتصال به شبکه بین المللی راه آهن و جاده ابریشم، برخورداری از تجهیزات و امکانات مدرن، نزدیکی به مناطق آزاد کیش و قشم و بنادر حوزه خلیج فارس این مجتمع بندری را به پایگاه راهبردی و منحصر به فرد تبدیل نموده است. برخورداری از اراضی پشتیبانی جهت واگذاری به سرمایه‌گذاران در راستای انجام فعالیت‌های پشتیبانی، صنعتی، نفتی و خدماتی در قالب قراردادهای BOT، اجاره کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت از پتانسیل‌ها و ظرفیت‌های منحصر به فرد این منطقه می‌باشد. در بندر شهید رجایی فعالیت‌های گوناگونی انجام می‌شود. در میان همه این فعالیت‌ها، در این تحقیق، فرآیند تخلیه و بارگیری در نظر گرفته شده است. به طورکلی، تخلیه و بارگیری کشتی‌ها در بندر شهید رجایی در دو ترمینال انجام می‌پذیرد. تخلیه و بارگیری کانتیرها در اسکله توسط جرثقیل ریلی انجام می‌شود. برای حمل آنها به محوطه انبار، از کامیون یا تراکتور کفی‌دار استفاده می‌شود. دو ترمینالی که در بندر عملیات تخلیه و بارگیری را بر عهده دارند با در اختیار داشتن محوطه‌های مجزا ولی نزدیک به یکدیگر انبارداری کانتینری را در دو بلوک انجام می‌دهند. در ترمینال شماره ۱، از ریچ استکر، و در ترمینال شماره ۲، از لیفتراک جهت جابه‌جایی کانتینر از کامیون به انبار یا به عکس از انبار به کامیون استفاده می‌شود. با توجه به تجهیزات دو ترمینال، الگوی چیدمان کانتینر در انبار ترمینال شماره یک تا ارتفاع ۴ کانتینر و در ردیف‌های هشت‌تایی صورت می‌گیرد. در حالی که این الگو در ترمینال شماره دو تا ارتفاع سه کانتینر چیده می‌شود. به علت حجم محدود کالای کانتینری فعلا در این بندر کمبود فضای انبار حس نمی‌شود. در نتیجه در حال حاضر فضای کانتینر خالی نیز مشکل‌ساز نخواهد بود. جریان فرآیندی در این بندر در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین در جدول ۲، مشخصات تجهیزات موجود در این بندر نشان داده شده است. علاوه بر این، در جدول۳، جزییات هزینه تجهیزات نشان داده شده است.



شکل ۲. عملیات تخلیه بار در بندر شهید رجایی (دوالی و همکاران، ۱۴۰۰)

جدول ۲. مشخصات تجهیزات موجود در بندر شهید رجایی

نام تجهیزات		تعداد موجود
جرثقیل	RTG 2004	۳
	RTG 2002	۱۵
	RTG1993	۷
ریچ استکر		۷۳
لیفتراک		۴۱
کامیون		۱۰

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

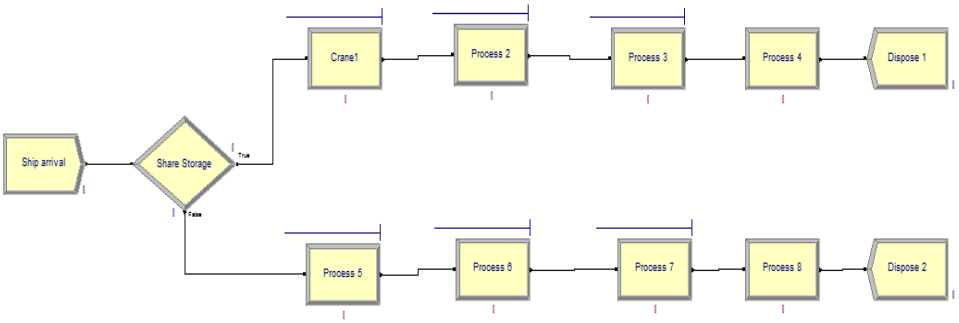
[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]

جدول ۳. هزینه ساعتی تجهیزات موجود

کل هزینه	هزینه متفرقه	روان سازها	برق	نگهداری		تعمیرات		هزینه سربار	استهلاک	تجهیزات
				حقوق و دستمزد	قطعات یدکی	حقوق و دستمزد	قطعات یدکی			
۹۳	۵	۴	۶	۱	۷	۱	۴	۲	۶۲	جرثقیل
۱۲۶	۶	۶	۹	۲	۹	۱	۶	۳	۸۵	ریچ استکر
۱۶۵	۷	۸	۱۳	۲	۱۲	۲	۸	۴	۱۱۱	لیفتراک
۲۲۵	۸	۱۱	۱۲	۳	۱۶	۲	۱۱	۵	۱۵۶	کامیون

٤-۲ توسعه مدل شبیه‌سازی

اولین گام در چارچوب پیشنهادی، ساخت و توسعه یک مدل شبیه‌سازی است. مدل شبیه‌سازی جایگزین حالت فیزیکی سیستم واقعی است. برای مختل‌نشدن فعالیت‌های مربوط به سیستم واقعی، ایجاد یک مدل شبیه‌سازی امری ضروری محسوب می‌شود. در این تحقیق، مدل شبیه‌سازی عملیات تخلیه و بارگیری کانتینر بر روی کشتی‌ها در بندر شهید رجایی، با استفاده از نرم افزار قدرتمند شبیه‌سازی ARENA® نسخه ۱۴ انجام شده است. در شکل ۳، نمایی از مدل طراحی‌شده در محیط نرم افزار ARENA® نشان داده شده است.



شکل ۳. مدل شبیه‌سازی تخلیه و بارگیری

از جمله اقدامات مهمی که پیش از تولید مدل شبیه‌سازی لازم است که به آن توجه شود، داده های ورودی مورد نیاز مدل است. داده‌های این مدل با طرح یک درخواست که نامه مربوطه ضمیمه این تحقیق نیز می باشد، از سازمان کشتیرانی کل کشور تهیه و جمع‌آوری شده است. لذا از حیث معتبر بودن داده‌ها می‌توان اعتماد داشت.

٤-۳ جزییات مدل شبیه‌سازی

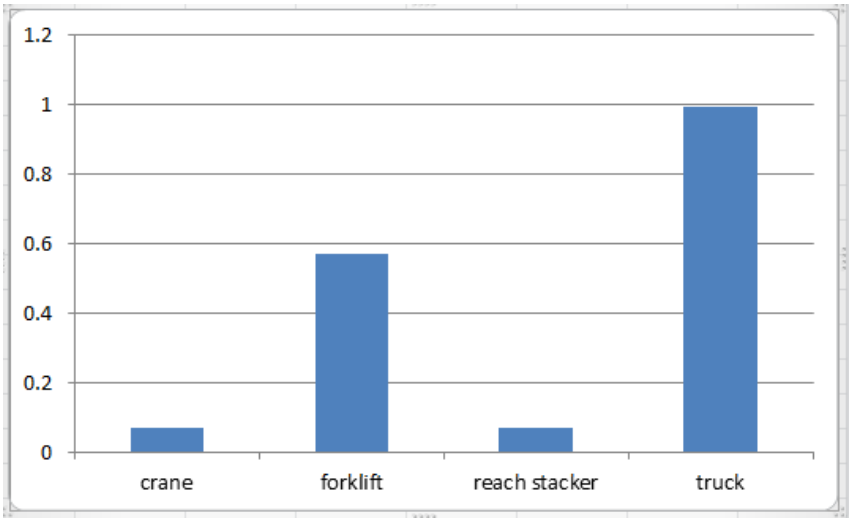
اقدام مهم دیگری که باید در خصوص مدل شبیه‌سازی به آن توجه داشت، تنظیمات مربوط به مدل شبیه‌سازی است. برای این‌که، مدل شبیه‌سازی رفتار پایداری داشته باشد و نتایج مربوط به آن در وضعیت گذار سیستمی قرار نداشته باشد، لازم است یک دوره گرم کردن[1] برای مدل شبیه‌سازی در نظر بگیریم. این دوره گرم کردن براساس عملکرد مدل شبیه‌سازی و میزان خطای نتایج آن در نظر گرفته می‌شود. این دوره برای مدل طراحی‌شده ۵ روز در

1 Warm-up period

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]

نظر گرفته شده است. توجه نمایید، دوره گرم کردن هیچ تاثیری در نتایج خروجی ندارد. زیرا نتایج خروجی در طول مدت آن توسط مدل گزارش نمی‌شود. بلکه نتایج مدل شبیه‌سازی از زمانی آغاز می‌شود که ۵ روز سپری شود و از آن پس مدل شبیه‌سازی نتایج را گزارش می‌کند. علاوه براین، طول مدت شبیه‌سازی است. با توجه به این‌که بندر شهید رجایی در تمامی روزهای ماه و سال حتی روزهای تعطیل فعال است، طول مدت شبیه‌سازی را به مدت یک ماه در نظر گرفته ایم. بنابراین، با ملحوظ دانستن موارد ذکر شده مدل اجرا می‌شود، و خروجی کل مدل ۱۲۳۹ عدد کانتینر در طول مدت اجرای مدل شبیه‌سازی بارگیری و تخلیه شده است. همچنین، ۴۲۸ کانتینر در این مدت زمانی به عنوان محصول نیمه تمام باقی می‌مانند. بارگیری و تخلیه این کانتینرها به دلیل محدودیت در منابع و تجهیزات در مدت زمانی دیگری پردازش می‌شوند. در شکل ۴، میزان استفاده از منابع و تجهیزات موجود نشان داده شده است.



شکل ٤. میزان استفاده از تجهیزات در عملیات بارگیری و تخلیه

٤-۳-۱ اعتبار مدل شبیه‌سازی

یکی از مراحل بسیار مهم در ساخت و توسعه مدل شبیه‌سازی، توجه به اعتبار مدل طراحی شده است. زیرا اعتبارسنجی مشخص می‌کند که آیا مدل طراحی شده به درستی ساخته شده است یا خیر. در صورتی که مدل به درستی ساخته شود، به معنی این است که مدل شبیه‌سازی ساخته شده معتبر است. یعنی، مدل قادر است به خوبی رفتار سیستم را بازگو نماید. برای انجام اعتبارسنجی لازم است با طرح آزمون و فرض زیر، یک مقایسه زوجی آماری بین داده‌های واقعی و خروجی شبیه‌سازی با استفاده از آماره تی انجام دهیم. لذا می‌توان اعتبار مدل ساخته شده را نتیجه گرفت.

H_0 : بین داده‌های واقعی و شبیه‌سازی تفاوت معناداری وجود دارد

H_1 : بین داده‌های واقعی وشبیه‌سازی تفاوت معناداری وجود ندارد

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]

جدول ٤. آزمون تی با فرض عدم برابری واریانس‌ها

	شبیه‌سازی	واقعی
میانگین	۱۴۲۵/۸۷۵	۱۴۹۸/۱۸۷۵
واریانس	۱۱۹۲۷۲/۶۵	۱۳۳۱۴۲/۲۹۵۸
مشاهده	۱۶	۱۶
درجه آزادی	۳۰	
t Stat	-۰/۵۷۵۷۲۵۹۸۹	
P(T<=t) one-tail	۰/۲۸۴۵۴۷۱۷۱	
t Critical one-tail	۱/۶۹۷۲۶۰۸۸۷	
P(T<=t) two-tail	۰/۵۶۹۰۹۴۳۴۳	
t Critical two-tail	۲/۰۴۲۲۷۲۴۵۶	

با توجه به جدول ۴، چون مقدار t-stat کوچکتر از t-critical two-tail است، بنابراین دلیلی بر پذیرش فرض صفر وجود ندارد، بنابراین اختلاف معناداری بین مقادیر شبیه‌سازی و واقعی وجود ندارد.

٤-٤ نتایج طراحی آزمایش

اولین مرحله در طراحی آزمایش‌ها، تعیین متغیرهای اصلی در مساله است. در این مساله، ۴ متغیر کلیدی به صورت زیر تعیین شده است.

- x_1 جرثقیل، با کمترین تعداد ۲۰ و بیشترین تعداد ۳۰،
- x_2 کامیون، با کمترین مقدار ۵ و بیشترین مقدار ۱۵،
- x_3 لیفتراک، با کمترین مقدار ۳۵ و بیشترین مقدار ۵۰،
- x_4 ریچ استکر، با کمترین مقدار ۶۵ و بیشترین مقدار ۸۰.

در این پژوهش طبق روش 2^k برای چهار متغیر کلیدی ۱۶ آزمایش بر اساس دو سطح کمترین و بیشترین مقدار طراحی و اجرا شده است. با توجه به اینکه هدف مساله، تعیین تعداد کانتینرهای تخلیه و بارگیری است لازم است که داده‌های آزمایش قابل شمارش باشند، همچنین با توجه به این‌که برای هر فاکتور مورد آزمایش دو مقدار در نظر گرفته‌ایم، بازه [۱+،۱-] انتخاب گردیده است. آزمایشات ایجاد شده طبق روش 2^k در جدول ۵ نشان داده شده است. متغیر پاسخ مقدار کانتینر بارگیری و تخلیه‌شده طبق هر آزمایش در مدل شبیه‌سازی است. تحلیل های آماری مربوط به طراحی آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Design expert 10 انجام شده است. سطح پاسخ در ستون آخر جدول ۵ از طریق اجرای هر سناریو در مدل شبیه‌سازی توسعه داده شده به‌دست آمده است.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]

جدول ۵. جدول آزمایشات

اجرا	متغیرها				سطح پاسخ
	$x_۴$	$x_۳$	$x_۲$	$x_۱$	(تعداد کانتینرها)
۱	۸۰	۳۵	۵	۳۰	۱۰۱۰
۲	۸۰	۳۵	۱۵	۳۰	۱۶۷۸
۳	۸۰	۳۵	۱۵	۲۰	۱۶۸۱
۴	۸۰	۵۰	۵	۲۰	۱۱۰۲
۵	۸۰	۵۰	۵	۳۰	۱۱۰۲
۶	۸۰	۵۰	۱۵	۲۰	۱۷۵۰
۷	۶۵	۵۰	۱۵	۲۰	۱۷۵۰
۸	۶۵	۳۵	۵	۲۰	۱۰۱۰
۹	۶۵	۳۵	۵	۳۰	۱۰۱۰
۱۰	۶۵	۵۰	۱۵	۳۰	۱۷۵۰
۱۱	۶۵	۵۰	۵	۳۰	۱۱۰۲
۱۲	۸۰	۵۰	۱۵	۳۰	۱۷۵۰
۱۳	۶۵	۳۵	۱۵	۲۰	۱۷۵۰
۱۴	۶۵	۵۰	۵	۲۰	۱۶۸۱
۱۵	۶۵	۳۵	۵	۲۰	۱۰۱۰
۱۶	۶۵	۳۵	۱۵	۳۰	۱۶۷۸

یک تحلیل آماری ساده که در ابتدا این طرح می‌توان از آن استفاده کرد محاسبه نسبت مقدار ماکزیمم به مینیمم داده‌های جدول آزمایش است. این نرخ مشخص می‌کند که آیا در برآورد مدل نهایی به تابع انتقال نیاز داریم یا خیر. اگر چنانچه این نرخ، مقداری کمتر از ۱/۵ داشته باشد، تابع انتقال نیاز است. در غیراین‌صورت به تابع انتقال نیاز نیست. در جدول ۶، تحلیل آماری مورد نیاز به تابع انتقال نشان داده شده است.

جدول ٦. تابع انتقال

مدل پیشنهادی	وضعیت	نرخ	مقدار مینیمم	مقدار ماکزیمم
مدل رگرسیون با دو اثر متقابل	تابع انتقال نیاز نیست	۱/۷۳>۱/۵	۱۰۱۰	۱۷۵۰

٤-٤-١ برآورد مدل طراحی‌شده

براساس نتایج اجرای مدل شبیه‌سازی براساس ۵ روز دوره گرم کردن، ۱ ماه طول دوره شبیه‌سازی و ۱۰ تکرار، میانگین خروجی‌های به‌دست آمده به عنوان سطح پاسخ در نظر گرفته شده است. برای نتایج به‌دست آمده باید یک مدل که حداکثر تقابل دو اثر با یکدیگر مورد بررسی قرار می‌دهد را برآورد نماییم. در معادله ۱، فرم کلی یک مدل با دواثر متقابل نشان داده شده است.

$$y = \beta_۰ + \sum_{i=۱}^{k} \beta_i x_i + \sum_i \sum_j \beta_{ij} x_i x_j \qquad (۱)$$

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]

که در آن β_0 جز ثابت مدل، β_i اثر فاکتورهای اصلی و β_{ij} اثر متقابل بین متغیرهای x_i و x_j است. هدف از برآورد مدل تعیین ضرایب مدل یا β_0، β_i و β_{ij} است. در مدل (۱)، y متغیر وابسته است. در واقع y معرف تعداد کانتینرهایی است که در طول یک روز کاری تخلیه و بارگیری می‌شوند. x_iنیز متغیرهای مستقل (فاکتورهای کلیدی) مساله هستند. مهم‌ترین نکته‌ای که در این مرحله برآورد مدل طراحی شده باید به آن توجه نماییم، این است که کدام یک از اثرات در مدل نهایی تاثیرگذار هستند. با استفاده از تحلیل آماری مقدار-P، می‌توانیم اثرات مؤثر را در مدل شناسایی نماییم. در صورتی که اثری مقدار-p کمتر از ۰/۰۵ داشته باشد، به‌عنوان اثر معنی‌دار در مدل در نظر گرفته می‌شود. در غیراینصورت از اعمال اثر در مدل جلوگیری می‌شود. در جدول ۷، جزییات مربوط به معنی‌دار بودن یا نبودن اثرات برای مدل با دو اثر متقابل نشان داده شده است.

جدول ۷. نتایج تحلیل های آماری اثرات مدل با دو اثر متقابل

منبع تغییرات	مقدار-F	مقدار-P	وضعیت
مدل	۷/۵۱	۰/۰۱۹۱	قابل قبول
x_1	۱/۲۰	۰/۳۲۳۹	غیرقابل قبول
x_2	۶۳/۳۷	۰/۰۰۰۵	قابل قبول
x_3	۳/۷۶	۰/۱۱۰۱	غیر قابل قبول
x_4	۱/۱۷	۰/۰۳۲۸	قابل قبول
x_1x_2	۰/۷۱	۰/۰۴۳۸	قابل قبول
x_1x_3	۰/۷۱	۰/۰۴۳۸	قابل قبول
x_1x_4	۱/۱۷	۰/۰۳۲۸	قابل قبول
x_2x_3	۱/۵۱	۰/۰۲۷۴	قابل قبول
x_2x_4	۰/۷۳	۰/۰۴۳۲	قابل قبول
x_3x_4	۰/۷۳	۰/۰۴۳۲	قابل قبول

در جدول ۷، در مقابل اثراتی که مقدار آماره آنها بیشتر از ۰/۰۵ است غیرقابل قبول نوشته شده است. توجه نمایید چون x_1 و x_3 و x_4متغیرهای تصمیم مساله هستند و ما می‌خواهیم با محاسبه مقدار آنها حداکثر بار تخلیه و بارگیری شده در بندر شهید رجایی را محاسبه نماییم، علی‌رغم اینکه از لحاظ آماری بی‌معنی و غیرقابل قبول تشخیص داده شده‌اند، لذا عمدا از آنها در مدل نهایی استفاده می‌نماییم. مقدار P مدل نشان می‌دهد که به اندازه کافی مدل معنی‌دار است. همچنین، دو آماره R^2 و $adj-R^2$ به ترتیب برابر با ۰/۹۳۷۵ و ۰/۸۱۲۶ محاسبه‌شده‌اند. مقدار $adj-R^2$برابر ٪۸۱/۲۶ تغییر در متغیرهای مستقل مدل را نشان می‌دهد. همچنین، مقدار تعیین‌شده ٪۹۳/۷۵ برای ضریب R^2 به اندازه کافی بالا است که نشان می‌دهد بین مقادیر آزمایش و پیش‌بینی تفاوت معناداری وجود ندارد. بنابراین، با حصول اطمینان از نتایج آماری، ضرایب مدل را برآورد می‌نماییم. مدل برآورد شده نهایی در رابطه (۲) نشان داده شده است. از این مدل بعد از تایید اعتبار آن می‌توان به عنوان جایگزینی از مدل شبیه‌سازی در مساله برنامه‌ریزی‌شده ریاضی برای تعیین تعداد کانتینرهای بارگیری و تخلیه‌شده استفاده کرد.

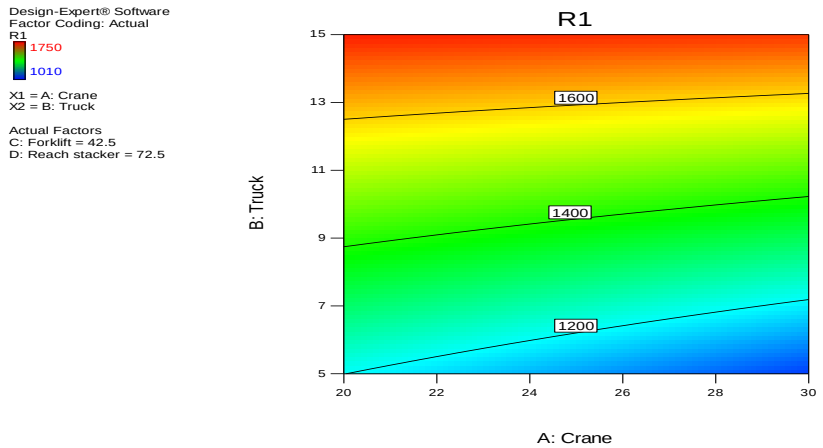
[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]

$$y = ۷۴۶/۲۰۸۳ - ۶۳/۳۷۵x_۱ + ۱۸/۳۶۶۶x_۲ + ۸۳/۹۸۳۲x_۳ - ۱۶/۸۱۶۶x_۴ \quad (۲)$$
$$+ ۱/۲۶x_۱x_۲ - ۰/۸۴x_۱x_۳ + ۱/۰۸x_۱x_۴ - ۱/۲۲۳۳x_۲x_۳ + ۰/۸۵x_۲x_۴ - ۰/۵۶۶۶x_۳x_۴$$

٤-٥. تحلیل طرح آزمایش

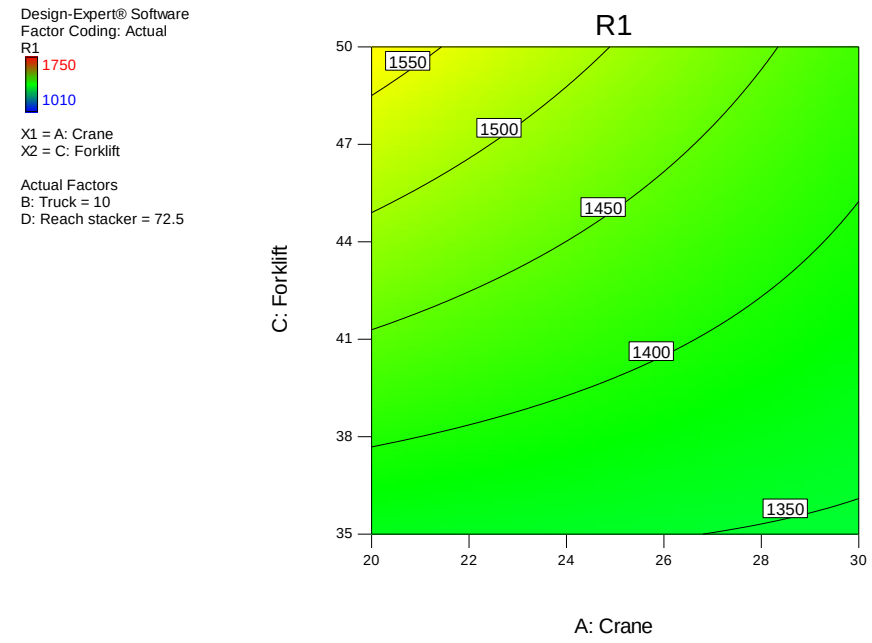
در شکل‌های ۵ تا ۱۰ با استفاده از نمودارهای کانتور هر یک از فاکتورها به طور زوجی با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته‌اند و وضعیت تعداد کانتینرهای تخلیه و بارگیری شده به‌عنوان هدف مساله بررسی شده است. با توجه به نمودار کانتور فاکتورهای کامیون و جرثقیل با هم در شکل ۵ مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار تعداد کانتینر تخلیه و بارگیری‌شده در جایی اتفاق می‌افتد که تعداد جرثقیل در کران وسط ناحیه تعریف شده باشد و تعداد کامیون‌ها نزدیک به کران بالای محدوده در نظر گرفته شده باشد. همچنین، در مقایسه فاکتورهای جرثقیل و لیفتراک با هم در شکل ۶ نشان می‌دهد که برای به‌دست آوردن بیشترین تعداد کانتینر بارگیری و تخلیه‌شده لازم است که تعداد جرثقیل‌ها در کران پایین خود و همچنین تعداد لیفتراک‌ها در کران بالای خود باشند. در مقایسه فاکتورهای جرثقیل و ریچ استکر با هم در شکل ۷ مشاهده می‌شود که به‌منظور حصول بیشترین تعداد کانتینر بارگیری و تخلیه شده لازم است هم تعداد جرثقیل و هم تعداد ریچ استکر نزدیک به کران پایین خود باشند. در مقایسه تعداد کامیون‌ها و لیفتراک‌ها با هم در شکل ۸ مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار هدف مساله در جایی رخ می‌دهد که تعداد کامیون‌ها نزدیک به کران بالای خود و تعداد لیفتراک‌ها در حد وسط خود قرار دارند. همچنین در مقایسه با تعداد کامیون و ریچ استکر در شکل ۹ مشاهده می‌شود که بیشترین تعداد کانتینر در جایی رخ می دهد که تعداد کامیون نزدیک به کران بالا و ریچ استکر در حد وسط خود قرار داشته باشد. در نهایت، در مقایسه لیفتراک و ریچ استکر با هم در شکل ۱۰ بیشترین تعداد کانتینر در محلی است که تعداد لیفتراک‌ها در کران بالای محدوده مربوطه و ریچ استکر در کران پایین قرار داشته باشد. مقایسه بدین شکل نشان می‌دهد که نمی‌توان با قطعیت در خصوص تعداد بهینه فاکتورها صحبت کرد. در چنین شرایطی، استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی توصیه می‌شود که با تشکیل یک مساله ریاضی متناسب با شرایط، با حل آن نسبت به تعیین مقادیر فاکتورها اقدام نماییم.



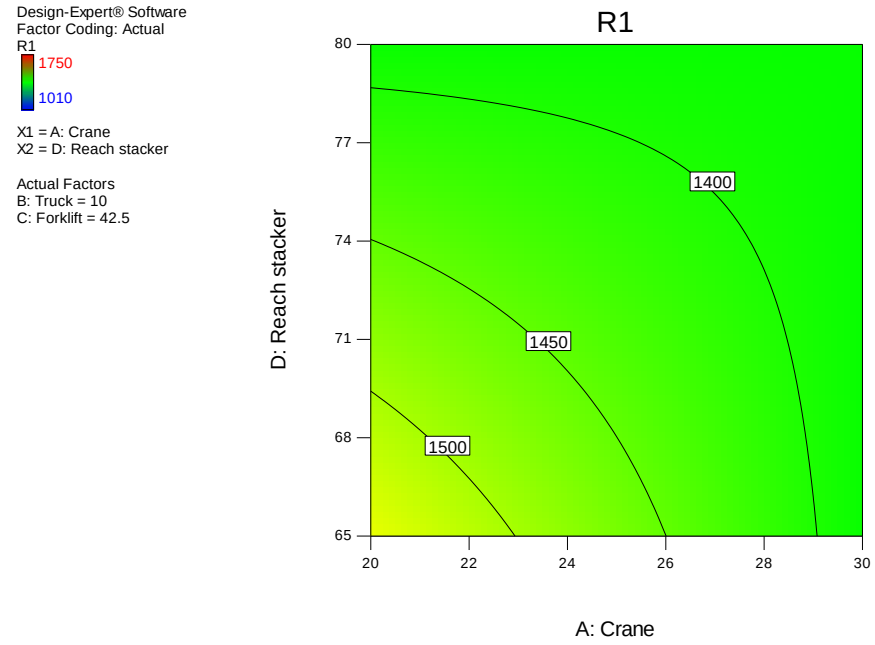
شکل ۵. مقایسه فاکتور جرثقیل با کامیون

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]



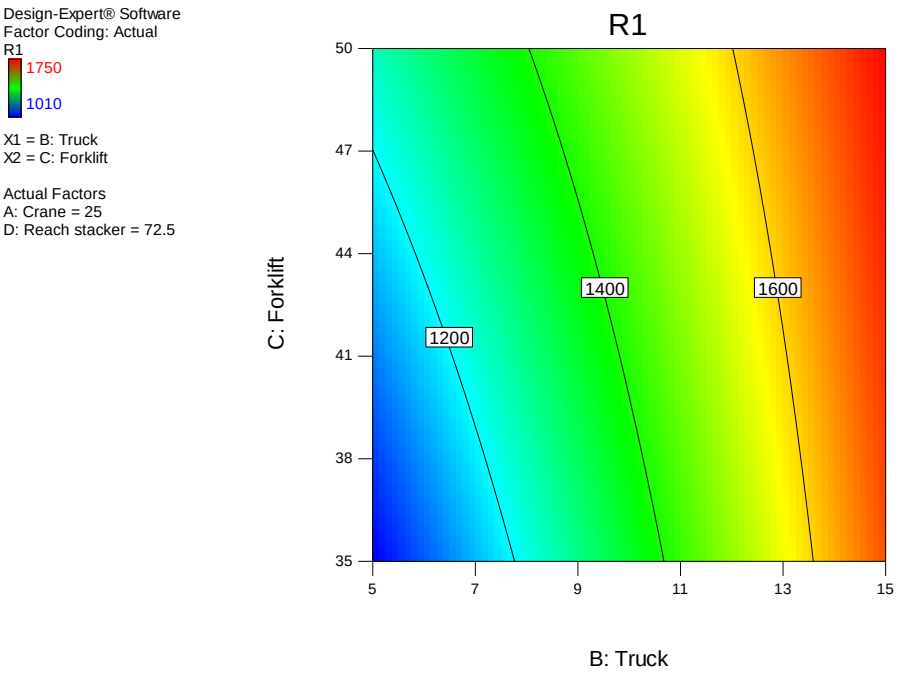
شکل ٦. مقایسه فاکتور جرثقیل با لیفتراک



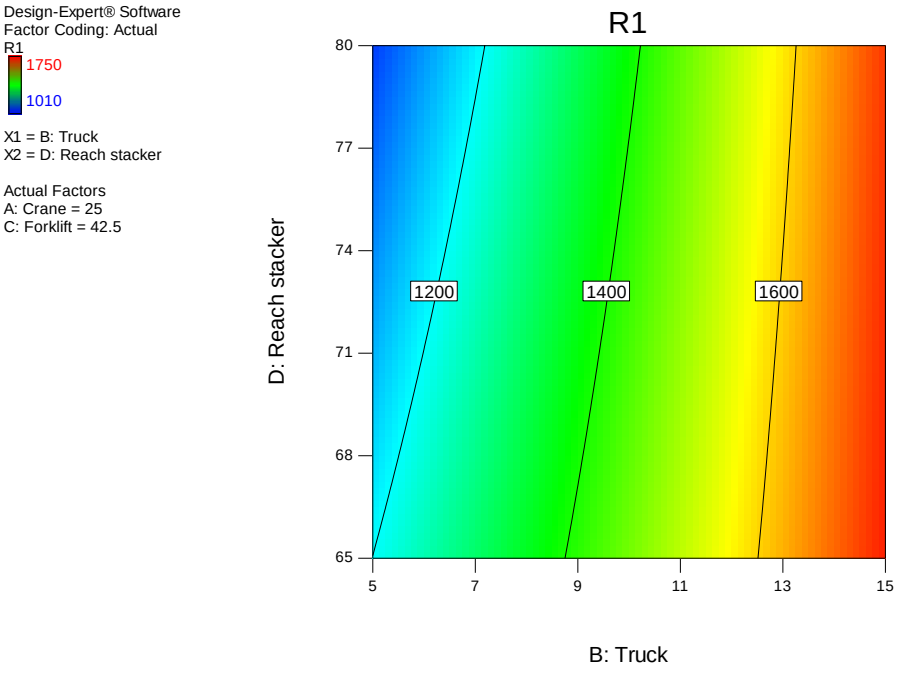
شکل ۷. مقایسه فاکتور جرثقیل با ریچ استکر

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]



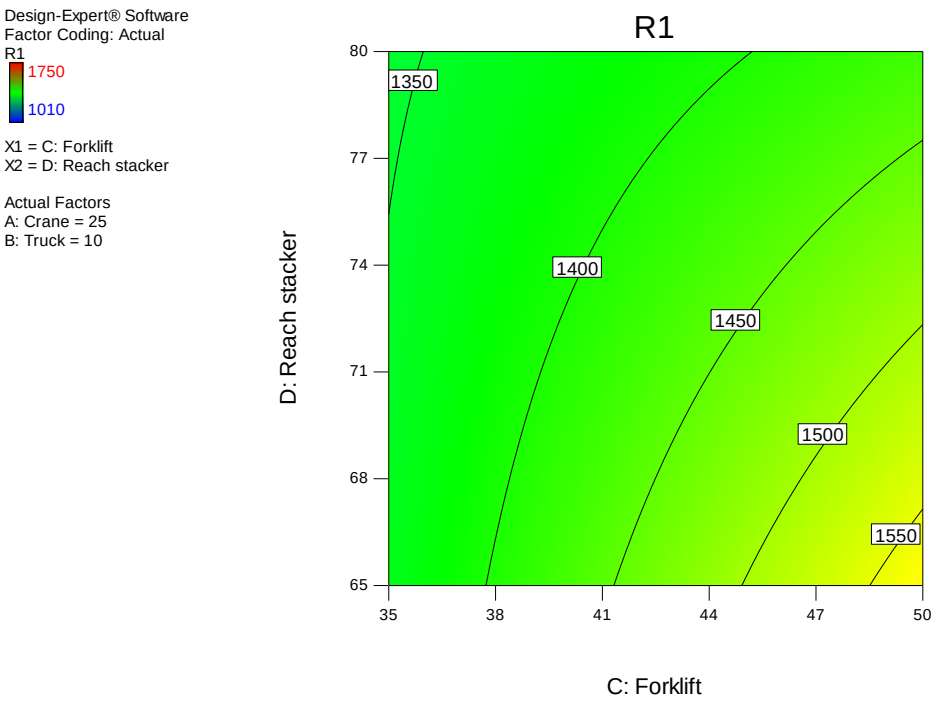
شکل ۸. مقایسه فاکتور کامیون با لیفتراک



شکل ۹. مقایسه فاکتور کامیون با ریچ استکر

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]



شکل ۱۰. مقایسه فاکتور لیفتراک با ریچ استکر

٤-٦ اعتبارسنجی مدل برآوردشده

در جدول ۸، سه اجرای تصادفی از فضای آزمون انتخاب می‌نماییم. با قرار دادن مقادیر تصادفی در متامدل توسعه داده شده در رابطه (۲) ستون خروجی MO برای هر آزمایش تکمیل می‌شود. همچنین، با اجرای هر آزمایش در مدل شبیه‌سازی ستون SO تکمیل می‌شود. سپس، با استفاده از مقادیر به‌دست آمده مقدار خطای مطلق نسبی (ARE) متامدل محاسبه می‌شود. مقدار خطای ARE در جدول ۸، ۶ درصد میانگین خطاهای محاسبه‌شده، برآورد شده است. بنابراین از این مقادیر به‌دست آمده نتیجه می‌گیریم که متامدل می‌تواند به‌عنوان مدل جایگزین مدل شبیه‌سازی مورد استفاده قرار بگیرد. لذا از آن می‌توان در تصمیم گیری‌های آینده و برنامه ریزی ریاضی در مرحله بعدی چارچوب پیشنهادی استفاده کرد.

جدول ۸. اعتبارسنجی متامدل

اجرا	متغیرها				خروجی		ARE
	$x_۴$	$x_۳$	$x_۲$	$x_۱$	MO	SO	
۱	۶۹	۴۷	۷	۲۱	۱۴۲۲	۱۳۰۰	۰/۰۰۸
۲	۷۸	۳۷	۱۲	۲۷	۱۵۱۱	۱۴۵۳	۰/۰۴
۳	۷۰	۴۰	۶	۲۸	۱۱۲۷	۱۰۳۲	۰/۰۸

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]

٤-٧ ساخت مساله برنامه‌ریزی ریاضی و بهینه‌سازی

همان‌طور که در بخش قبل به آن اشاره شده است، براساس مقایسه‌ای که با طرح آزمایش انجام شده است، نمی‌توان با قطعیت در خصوص تعداد بهینه فاکتورها صحبت کرد. و فقط در خصوص مقایسات زوجی فاکتورها به صورت زوجی به صورت کیفی نظر داد. در چنین شرایطی، استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی توصیه می‌شود که با تشکیل یک مساله ریاضی متناسب با شرایط، با حل آن نسبت به تعیین مقادیر فاکتورها اقدام نماییم. زیرا، برای کنترل و برنامه‌ریزی سیستم‌ها به طور گسترده از تکنیک‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای حل اهداف کنترل‌شده فنی استفاده می‌شود. این مدل برآوردشده جایگزین مدل شبیه‌سازی به منظور تعیین تعداد کانتینرهای بارگیری و تخلیه شده است. ساختار مساله برنامه‌ریزی در معادلات (۳)تا (۵) نشان داده شده است.

$$\max y = ۷۴۶/۲۰۸۳ - ۶۳/۳۷۵x_۱ + ۱۸/۳۶۶۶x_۲ + ۸۳/۹۸۳۲x_۳ - ۱۶/۸۱۶۶x_۴ + ۱/۲۶x_۱x_۲ - ۰/۸۴x_۱x_۳ + ۱/۰۸x_۱x_۴ - ۱/۲۲۳۳x_۲x_۳ + ۰/۸۵x_۲x_۴ - ۰/۵۶۶۶x_۳x_۴ \quad (۳)$$

$$s.t. \quad (۴)$$

$$L_i \le X_i \le U_i \quad \text{for } i = ۱,۲,۳,۴$$

$$X_i \ge ۰, \text{ integer} \quad (۵)$$

در مساله برنامه‌ریزی فوق، معادله (۳)، تابع هدف مساله است. براساس نوع هدف مساله هر چه تعداد کانتینرهای بارگیری یا تخلیه‌شده بیشتر باشد، مطلوب‌تر است، لذا مساله از نوع ماکزیمم‌سازی است. محدودیت (۴)، کران بالا و پایین تعداد منابع در دسترس است و محدودیت (۵) تضمین می‌کند که مقدار منابع موجود نامنفی صحیح برآورد شوند. حل مساله فوق ترکیب بهینه منابع را به‌صورت $(X_۱^*, X_۲^*, X_۳^*, X_۴^*)$ تعیین می‌کند. برای حل مساله از پکیج‌های نرم افزاری بهینه‌سازی باید استفاده شود. در این تحقیق برای حل مساله ایجادشده از نرم افزار بهینه سازی Lingo 11 استفاده شده است. با وارد کردن مدل فوق در نرم افزار Lingo 11 نتیجه حل مدل در شکل ۱۱ به عنوان خروجی نرم‌افزار نشان داده شده است.

Variable	Value	Reduced Cost
X1	20.00000	0.000000
X2	15.00000	0.000000
X3	50.00000	0.000000
X4	65.00000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.4498927E+08	1.000000
2	0.000000	-16.27500
3	10.00000	0.000000
4	10.00000	0.000000
5	0.000000	37.65160
6	0.000000	899760.0
7	15.00000	0.000000
8	0.000000	-10.79660
9	15.00000	0.000000

شکل ۱۱. خروجی نرم افزار Lingo 11

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]

ترکیب بهینه منابع اثرگذار برروی تخلیه و بارگیری در بندر شهید رجایی از حل مدل ریاضی تشکیل‌شده به‌صورت $\left(X_1^* = ۲۰, X_2^* = ۱۵, X_3^* = ۵۰, X_4^* = ۶۵\right)$ محاسبه شده است. در جدول ۹، مقایسه بین وضعیت موجود و وضعیت بهینه بندر شهید رجایی برای تخلیه و بارگیری کانتینرها نشان داده شده است.

جدول ۹. مقایسه وضعیت موجود و بهینه

وضعیت	متغیرها				مقدار هدف
	X_4	X_3	X_2	X_1	
موجود	۷۳	۴۱	۱۰	۲۵	۱۰۷۲
بهینه	۶۵	۵۰	۱۵	۲۰	۱۳۸۹

براساس نتایج حاصل‌شده از حل مدل، با کاهش ۵ عدد از تعداد جرثقیل‌ها، و افزایش ۵ عددی در تعداد ریچ استکر، افزایش ۹ عددی در تعداد لیفتراک و همچنین کاهش ۸ عددی در تعداد کامیون‌ها، بهینه‌ترین تعداد کانتینرهای بارگیری و تخلیه‌شده در بندر شهید رجایی از طریق اعمال مقادیر در مدل شبیه‌سازی به دست می‌آید. براساس ترکیب بهینه تعداد کانتینرهای بارگیری و تخلیه‌شده ۳۱۷ عدد در طول روز افزایش (از ۱۰۷۲ به ۱۳۸۹) پیدا می‌نماید که معادل ۲۹/۵ درصد افزایش می‌باشد.

٤-۸ تحلیل حساسیت

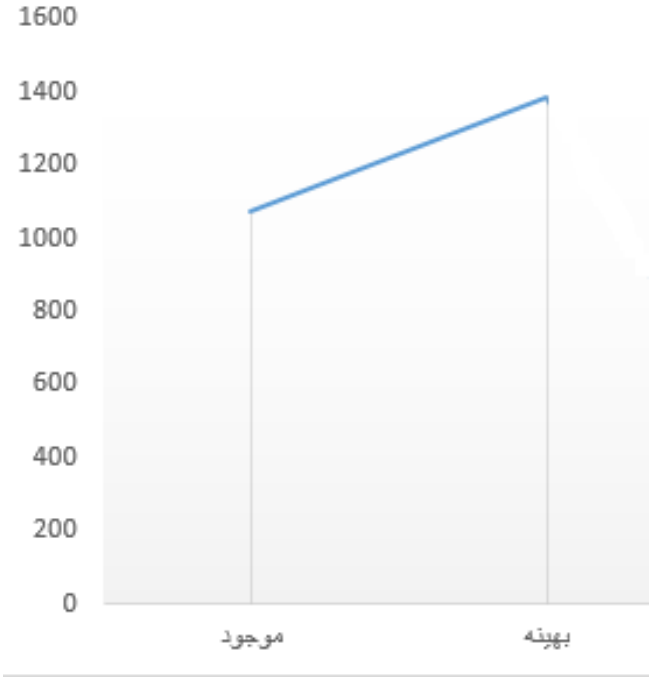
برای نشان دادن کیفیت جواب به‌دست آمده، یک تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای مساله برنامه‌ریزی ایجاد شده انجام می‌دهیم. براساس تحلیل حساسیت با تغییر بر روی پارامترهای محدودیت‌ها مقدار بهینه مساله جدید را محاسبه می‌کنیم و نتیجه حاصل‌شده را با جواب مساله اصلی انجام می‌دهیم. نتیجه تحلیل حساسیت انجام‌شده بر روی مساله برنامه‌ریزی ریاضی تشکیل‌شده در جدول ۱۰ نشان داده شده است. این جدول نشان می‌دهد که در صورت کم کردن از مقدار هر یک از متغیرها مقدار بهینه تابع هدف بهتر نمی‌شود. بنابراین نتیجه می‌گیریم که مقدار بهینه به‌دست آمده مطلوب‌ترین ترکیب به‌دست آمده است. در شکل۱۲ نمودار مقدار تابع هدف نشان داده شده است. براساس مقدار آن مشاهده می‌شود که استقرار ترکیب بهینه جدید باعث افزایش در میزان بارگیری کانتینرها می‌شود.

جدول ۱۰. نتیجه تحلیل حساسیت

مقدار بهینه				مقدار جدید				مقدار هدف	
X_4	X_3	X_2	X_1	X_4	X_3	X_2	X_1	بهینه	جدید
۶۵	۵۰	۱۵	۲۰	۶۰	۴۰	۱۰	۲۰	۱۳۸۹	۱۰۷۲

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]



شکل ۱۲. تغییرات تابع هدف

۵ بحث

بهینه‌سازی شبیه‌سازی به‌عنوان یک ابزار تحلیل و تصمیم‌گیری در حوزه تحقیق در عملیات، برای مسایلی که شکل ریاضی شاخص‌های سیستم موردنظر به‌دلیل پیچیدگی و یا تصادفی بودن ماهیت آن به‌راحتی قابل به‌کارگیری نیستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق ضمن معرفی و شناخت بهینه‌سازی شبیه‌سازی و تکنیک‌های مربوط به آن، انواع شبه‌مدل‌ها که برای برازش تابع هدف ناشناخته مورد استفاده قرار می‌گیرند و همچنین انواع روش‌های طراحی آزمایش، یک چارچوب بهینه‌سازی شبیه‌سازی برای مساله ارایه شده است.

دلایل زیادی برای انتخاب مساله برای این تحقیق وجود دارد. اما مهم‌ترین دلایل عبارت‌اند از: فضای جواب مساله پیوسته است، تابع هدف پیچیده است، ساختار مساله مقید است و زمان اجراهای شبیه‌سازی طولانی است. علاوه بر موارد ذکرشده، یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین پایه‌های اقتصادی هر کشور، بنادر آن کشور است. بنادر به‌عنوان یکی از ارکان زیربنایی اقتصاد، نقش اساسی در تامین مواد اولیه صنایع دیگر دارد و توسعه سرمایه گذاری دراین بخش می‌تواند موجب کسب ارزش افزوده مناسب در بسیاری از بخش‌های دیگر اقتصادی شود. نقش بنادر در رشد اقتصادی هر کشور انکارناپذیر است و بدون تردید بهره‌برداری صحیح از بنادر کشور، عاملی مهم و مثبت در رشد و توسعه اقتصادی محسوب می‌شود. مهم‌ترین دلیل این است که در بنادر فرآیندهای مختلفی وجود دارد اما در میان آنها سیستم بارگیری و تخلیه نقش قابل توجهی در بنادر را به خود اختصاص می‌دهد. در مجموع مهم‌ترین سهم مشارکت تحقیق عبارت است از:

- ارایه چارچوبی که قادر است به طور همزمان ضمن تجزیه و تحلیل رفتار سیستم، مطلوب‌ترین وضعیت جریان تخلیه و بارگیری را برای کانتینرهای موجود در یک بندر تعیین نماید.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]

- استفاده همزمان از دو ابزار قدرتمند شبیه‌سازی و بهینه‌سازی برای توجیه رفتار سیستم بندر.
- ملحوظ دانستن هدف مساله برای نزدیک شدن سیستم به دنیای واقعی.

با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان یافت که در صورتی که تعداد جرثقیل نسبت به کامیون بیشتر باشد، مقدار تعداد کانتینر تخلیه و بارگیری‌شده در بندر به بیشترین مقدار خود می‌رسد. همچنین اگر تعداد جرثقیل‌ها نسبت به لیفتراک ها کمتر باشد بیشترین تعداد کانتینر در بندر تخلیه و بارگیری می‌شود. همین‌طور در صورت تخلیه و بارگیری کانتینر در بندر لازم نیست ریچ استکر در مقایسه با جرثقیل بیشتر باشد. به طور کلی جرثقیل و ریچ استکر اگر تعدادشان هم کم باشد حجم قابل قبولی از کانتینر بارگیری می‌شود. به‌طور کلی می‌توان اظهارنظر کرد که در این بندر عملیات تخلیه و بارگیری به تعداد جرثقیل و ریچ استکر وابستگی زیادی ندارد. اما به تعداد کامیون و لیفتراک وابستگی زیاد دارد.

برای توسعه این چنین تحقیقاتی می‌توان در زمینه به‌کارگیری روش پیشنهادی برای سایر مسایل پیچیده دنیای واقعی، نظر به این‌که روش پیشنهادی قادر به غلبه بر پیچیدگی سیستم‌های مختلف است، پژوهشی انجام گردد. همچنین توسعه روش پیشنهادی و به‌کارگیری آن در سایر مسایل مربوط به حوزه بنادر، همچون باراژ، حمل و نقل ریلی و اقیانوسی، به‌منظور مدیریت صحیح ناوگان حمل و نقل می‌تواند کارگشا باشد. به‌کارگیری سایر متامدل‌ها نظیر متامدل کرایگینگ و شبکه عصبی مصنوعی در روش پیشنهادی و مقایسه عملکرد آنها با یکدیگر و نیز استفاده از سایر روش‌های تقریب تابع هدف به منظور بهترین تابع هدف از حیث داشتن خطا کمک بسیاری در ارایه نتیجه مطلوب‌تر می‌نماید.

٦ نتیجه‌گیری

بر اساس آمارهای جهانی حدود ۹۰٪ از فعالیت‌های واردات و صادرات کشورها و به طور کلی فعالیت‌های تخلیه و بارگیری و حجم جابجایی در فرایند تجارت جهانی به وسیله دریا و در بنادر صورت می‌گیرد. از این منظر می‌توان گفت بندر نقشی حیاتی و حساس در این فرایند دارد اهمیت بنادر به عنوان یک معبر ورود و خروج کالا و مبدا و مقصد اقتصادی‌ترین شیوه حمل و نقل یعنی حمل و نقل دریایی بر ما پوشیده نیست. نیاز به بازده بهتر در بنادر، دولت‌ها را به سمت برداشتن گام‌های متعدد برای ایجاد تغییرات در بنادر اکثر مناطق جهان سوق داده است. حال با توجه به اهمیت فوق العاده بنادر، هرگونه تغییر در بنادر باید با برنامه‌ریزی صحیح و منظم توام باشد تا سبب بهبود و افزایش کارایی در جهت توسعه اقتصادی کشور گردد. برنامه خصوصی‌سازی یک تغییر استراتژیک در بنادر می‌باشد که اگر با برنامه‌ریزی دقیق و مطابق با بافت جمعیتی و الگوبرداری صحیح از تجربیات بنادر موفق دنیا توام باشد، می‌تواند سبب تغییراتی مثبت در بنادر شود. واژه اقتصادی خصوصی‌سازی حاکی از تغییر در تعادل بین حکومت و بازار در حیات اقتصادی یک کشور به نفع بازار می‌باشد که سبب توسعه بازار و بخش خصوصی می‌شود که افزایش درآمد ملی و توسعه اقتصادی را به همراه دارد.

در این پژوهش یک مدل تخمینی ریاضی از طریق محاسبات شبیه‌سازی کامپیوتری و طراحی آزمایش به منظور تعیین تعداد کانتینرهای بارگیری و تخلیه‌شده در بندر شهید رجایی توسعه داده شده است. این مدل قادر است

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]

تعداد کانتینرهای بارگیری و تخلیه‌شده در زیر سیستم مورد نظر را با توجه به تعیین مقدار بهینه متغیرهای اثرگذار در فرآیند تخمین بزنند. در این پژوهش نشان داده شده است که چگونه یک تحلیل‌گر می‌تواند به سادگی با استفاده از روش بهینه‌سازی مدل‌های شبیه‌سازی شبه مدل محور، مساله موجود در یک سیستم پیچیده را حل نماید. با استفاده از متغیرهای اثرگذار در فرآیند، طراحی آزمایشات و همچنین تکنیک‌های اعتبارسنجی، یک شبه مدل به عنوان تابع هدف مساله تقریب‌زده شده است. این شبه مدل از میان شبه مدل‌های کاندید رگرسیون انتخاب شده است. شبه مدل با دو اثر متقابل انتخاب‌شده در واقع عملکرد بهتری از نظر دقت و اعتبار دارا است. در ادامه، فرآیند بهینه‌سازی به منظور تعیین نقطه نزدیک بهینه[1] منابع با در نظر گرفتن محدودیت‌های (۴) و (۵) به اجرا درآمد. از طریق حل مساله ایجادشده ترکیب شدنی متغیرهای اصلی پیدا شده است که عبارت‌اند از:

$$\left(X_{۱}^{*}=۲۰, X_{۲}^{*}=۱۵, X_{۳}^{*}=۵۰, X_{۴}^{*}=۶۵\right)$$

نتایج حاصل از اعتبارسنجی مقادیر فضای آزمایش نشان داد که کارایی مدل پیشنهادی به حد کافی قابل قبول است. با استفاده از ترکیب شدنی متغیرها بیشترین تعداد کانتینرهای بارگیری و تخلیه‌شده در بندر شهید رجایی ۱۳۸۹ عدد در ماه محاسبه شد، که نشان‌دهنده این است که می‌توان از طریق جایگزینی ترکیب بهینه در سیستم ۲۹/۵ درصد بهبود در هدف فرآیند مدنظر حاصل کرد.

منابع

[1] Ghandahari Mehsa, Sajjadi Seyed Mojtabi, Abu Talebian Nader. Simulation of unloading and loading system of Isfahan smelter factory, to reduce the waiting time of trailers entering the factory to load final products. Journal of Operational Research in its Applications2014; 11 (3): 59-70.

[2] Ebrahimi Seyyed Majid, Khush Elhan Farid, Baragheh Maitham, Tehranian Omid. Multi-objective routing problem with loading and unloading cost and its solution using sparse search meta-heuristic algorithm. Journal of Operational Research in its Applications2014; 11 (3): 57-35

[3] Sheikhul-Islami Kandlos, Abdul Reza, Golshan Ara, Nader, Ilati Saramlou, Gholamreza (2021). The importance of quay crane scheduling in increasing the productivity of container terminals. Shipping and Marine Technology, 3(5), 41-55.

[4] Devali, Mohammad Mehdi, Masoomzadeh Jozdani, Rasul. (2021). Prioritization of port selection criteria by international shipping companies (hierarchical analysis approach). Business reviews, 19(109), 25-38

[5] Naimi Sediq, Ali, Harifi, Rokhsare, Mozafari, Marzieh. (2022). Segmentation of Ports and Maritime Organization customers using self-organizing neural network and K-Means algorithm. Business reviews

[6] Allen, E. D., & Thiessen, D. A. (2007). Impact of Large Container Ships on Port Infrastructure. In Ports 2007: 30 Years of Sharing Ideas: 1977-2007 (pp. 1-10).

[7] Barton, R. R. (2009, December). Simulation optimization using metamodels. In Proceedings of the 2009 winter simulation conference (WSC) (pp. 230-238). IEEE.

[8] Barton, R. R., & Meckesheimer, M. (2006). Metamodel-based simulation optimization. Handbooks in operations research and management science, 13, 535-574.

[9] Briskorn, D. (2021). Routing two stacking cranes with predetermined container sequences. Journal of Scheduling, 24(4), 367-380.

[10] Cabrera, E., Taboada, M., Iglesias, M. L., Epelde, F., & Luque, E. (2011). Optimization of healthcare emergency departments by agent-based simulation. Procedia computer science, 4, 1880-1889.

[1] Near Optimum

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]

[11] Castro, P. M., Harjunkoski, I., & Grossmann, I. E. (2019). Discrete and continuous-time formulations for dealing with break periods: Preemptive and non-preemptive scheduling. European Journal of Operational Research, 278(2), 563-577.
[12] Cimpeanu, R., Devine, M. T., & O'Brien, C. (2017). A simulation model for the management and expansion of extended port terminal operations. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 98, 105-131.
[13] DeJohn, F. A., Sanderson, C. W., Lewis, C. T., Gross, J. R., & Duket, S. D. (1980, May). The use of computer simulation programs to determine equipment requirements and material flow in the billet yard. In Proceedings of 1980 AIIE Spring Annual Conference.
[14] Dengiz, B., İç, Y. T., & Belgin, O. (2016). A meta-model based simulation optimization using hybrid simulation-analytical modeling to increase the productivity in automotive industry. Mathematics and Computers in Simulation, 120, 120-128.
[15] Dragović, B., Tzannatos, E., & Park, N. K. (2017). Simulation modelling in ports and container terminals: literature overview and analysis by research field, application area and tool. Flexible Services and Manufacturing Journal, 29(1), 4-34.
[16] Henesey, L. (2005). A Simulation Model for Analysing Terminal Management Operations. In Proceedings of the 4th International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries, Hamburg, Germany.
[17] Hu, Z. H., Tian, X. D., Yin, Y. Q., & Wei, C. (2022). Positioning a Handshake Bay for Twin Stacking Cranes in an Automated Container Terminal Yard Block. Journal of Advanced Transportation, 2022.
[18] Huynh, N. N. (2005). Methodologies for reducing truck turn time at marine container terminals. The University of Texas at Austin.
[19] Kabirian, A., & Olafsson, S. (2007, December). Allocation of simulation runs for simulation optimization. In 2007 Winter Simulation Conference (pp. 363-371). IEEE.
[20] Kleijnen, J. P., & Sargent, R. G. (2000). A methodology for fitting and validating metamodels in simulation. European Journal of Operational Research, 120(1), 14-29.
[21] Kleijnen, J. P., & Beers, W. V. (2004). Application-driven sequential designs for simulation experiments: Kriging metamodelling. Journal of the operational research society, 55(8), 876-883.
[22] Kress, D., Dornseifer, J., & Jaehn, F. (2019). An exact solution approach for scheduling cooperative gantry cranes. European Journal of Operational Research, 273(1), 82-101.
[23] Kress, D., Meiswinkel, S., & Pesch, E. (2019). Straddle carrier routing at seaport container terminals in the presence of short term quay crane buffer areas. European Journal of Operational Research, 279(3), 732-750.
[24] Lam, S. F., & Englert, B. (2008). On sequencing of container deliveries to over-the-road trucks from yard stacks (No. METRANS Project 07-12).
[25] Li, B., Sun, B., Yao, W., He, Y., & Song, G. (2019). Container terminal oriented logistics generalized computational complexity. IEEE Access, 7, 94737-94756.
[26] Liu, C. I., Jula, H., Vukadinovic, K., & Ioannou, P. (2004). Automated guided vehicle system for two container yard layouts. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 12(5), 349-368.
[27] Mohammad Nezhad, A., & Mahlooji, H. (2014). An artificial neural network meta-model for constrained simulation optimization. Journal of the Operational Research Society, 65(8), 1232-1244.
[28] Park, C. S., & Chiu, C. Y. (1989). Development of a graphical simulator for port planning.
[29] Roy, D., & de Koster, R. (2018). Stochastic modeling of unloading and loading operations at a container terminal using automated lifting vehicles. European Journal of Operational Research, 266(3), 895-910.
[30] Roy, D., De Koster, R., & Bekker, R. (2020). Modeling and design of container terminal operations. Operations Research, 68(3), 686-715.
[31] Roy, D., Gupta, A., & De Koster, R. B. (2016). A non-linear traffic flow-based queuing model to estimate container terminal throughput with AGVs. International Journal of Production Research, 54(2), 472-493.
[32] Schriber, T. J. (1974). Simulation Using GPSS John Wiley & Sons New York. New Jersey, USA.
[33] Spasovic, L. N., Sideris, A., Das, S., & Chao, X. (1999). Increasing productivity and service quality of the straddle carrier operations at a container port terminal. Journal of Advanced Transportation.
[34] Steenken, D., Voß, S., & Stahlbock, R. (2004). Container terminal operation and operations research-a classification and literature review. OR spectrum, 26(1), 3-49.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]

[35] Ugboma, C., Ugboma, O., & Ogwude, I. C. (2006). An analytic hierarchy process (AHP) approach to port selection decisions–empirical evidence from Nigerian ports. Maritime Economics & Logistics, 8(3), 251-266.
[36] Vacca, I., Bierlaire, M., & Salani, M. (2007). Optimization at container terminals: status, trends and perspectives. In Swiss Transport Research Conference (No. CONF).
[37] Woo, S. H., Pettit, S. J., Kwak, D. W., & Beresford, A. K. (2011). Seaport research: A structured literature review on methodological issues since the 1980s. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 45(7), 667-685.
[38] Xu, Y., & Zhu, J. (2022). Scheduling Optimization for Twin ASC in an Automated Container Terminal Based on Graph Theory. Advances in Multimedia, 2022.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2165]