بهینه‌سازی عملیات کانتینرهای خالی با استفاده از شبیه‌سازی (مطالعه موردی: بندر شهید رجایی)

مقاله علمی – پژوهشی

سیده معصومه صداقی*، استادیار، پژوهشکده حمل و نقل، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
ایمان شیوافر، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: s.sadaghi@bhrc.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۰- پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵
صفحه ۷۴-۶۱

چکیده

مدیریت عملیات بندری نقش مهمی در صنعت حمل‌ونقل و تجارت دریایی دارد. روش‌ها و ابزارهای مختلفی برای بهبود مدیریت عملیات بندری قابل استفاده است که از آن جمله می‌توان به کاربرد نرم‌افزارهای شبیه‌سازی عملیات بندری اشاره کرد. این نرم‌افزارها معمولاً برای بهینه‌سازی عملیات مختلف بندری، ارزیابی ظرفیت، ترافیک بارگیری و تخلیه کانتینرها، مدیریت ذخیره، مکان‌یابی و تخصیص کانتینرها، برنامه‌ریزی سفر کشتی‌ها و مواردی از این دست مورد استفاده قرار می‌گیرند. بندر شهیدرجایی به عنوان بزرگترین و مهمترین بندر تجاری کشور، یکی از مراکز پر تراکم و حیاتی کشور محسوب می‌شود که مدیریت عملیات بندری و دریایی آن به علت تنوع، گستردگی و هم‌پوشانی فعالیت‌ها بسیار پیچیده است. استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی، می‌تواند نقش موثری در بهبود مدیریت عملیاتی در این بندر داشته باشد. یکی از فعالیت‌های بندری در این بندر، مدیریت کانتینرهای خالی است که توسط شرکت کشتیرانی جنوب- خط ایران به عنوان بازوی عملیات بندری گروه کشتیرانی ج.ا.ا. و تامین کننده اصلی و متولی بخش عمده عملیات کانتینرهای خالی به انجام می‌رسد. در این مقاله، فرایند ارسال کانتینرهای خالی به پایانه‌های متقاضی با استفاده از نرم‌افزار آرنا شبیه‌سازی شده است. نتایج نشان می‌دهد با اعمال راهکارهایی همچون توزیع مکانی محل ذخیره کانتینرهای خالی و نیز فراخوانی غیر همزمان کشنده‌ها بر اساس برنامه‌ریزی قبلی می‌توان طول صف و میانگین زمان انتظار در صف را به ترتیب تا ۷۴ و ۸۰ درصد کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، کانتینر خالی، شبیه‌سازی

۱-مقدمه

گروه کشتیرانی جمهوری اسلامی ایران به عنوان بزرگ‌ترین شرکت ترابری دریایی و خدمات کشتیرانی کشور، یکی از متولیان اصلی عملیات کانتینری در بندر شهید رجایی است. شرکت کشتیرانی جنوب- خط ایران از زیر مجموعه‌های گروه کشتیرانی، تامین کننده اصلی و متولی بخش عمده عملیات کانتینرهای خالی بندر شهید رجایی است که کانتینرهای خالی را در مواقع نیاز در اختیار شرکت‌های بندری فعال در حمل‌ونقل کانتینری یا شناورهای متقاضی انتقال کانتینرهای خالی به سایر بنادر کشور/دنیا قرار می‌دهد. مدیریت توزیع و تحویل کانتینرهای خالی، عملیاتی است که پس از مشخص شدن تقاضا انجام می‌گیرد. اهمیت این بخش از آن جهت است که اختلال در آن موجب ایجاد تاخیر در فرآیند تحویل کانتینرهای خالی

به مشتریان صادراتی و در نتیجه نارضایتی متقاضیان و حتی تاثیر منفی بر صادرات کشور خواهد شد.

یک پایانه اختصاصی در محوطه بندری شهید رجایی برای عملیات کانتینرهای خالی به صورت اجاره بلندمدت در اختیار شرکت کشتیرانی جنوب-خط ایران قرار گرفته است. این پایانه، در بخش غربی بندر شهید رجایی در زمینی به مساحت ۱۱/۵ هکتار قرار دارد که ظرفیت استاتیک آن با توجه به مدل چیدمانی و محدودیت‌های مستحدثاتی حدود ۱۷۰۰۰ TEU کانتینر خالی است و در حال حاضر، به طور عمده برای ذخیره کانتینرهای ۲۰ فوتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. کانتینرهای ٤٠ فوتی که کمتر از ۱۰ درصد عملیات کانتینرهای خالی به آنها اختصاص دارد، در مواقع اضطراری و کمبود فضای کافی در پایانه دیگری ذخیره می‌شوند. با توجه به حجم بالای تقاضا از جانب متقاضیان متعدد، مدیریت توزیع و تحویل/دریافت کانتینرهای خالی با پیچیدگی بسیاری همراه بوده به گونه‌ای که در زمان اوج تقاضا، تشکیل صف و کاهش بهره‌وری عملیات بندری را به همراه دارد. این موضوع در زمان‌هایی که تقاضا برای صادرات کانتینر خالی از طریق شناور وجود داشته باشد پیچیده‌تر نیز می‌شود چرا که حجم تقاضای شناورها در اسکله بسیار بالا است و باید در مدت زمان محدودی انجام شود تا منجر به تبعات مالی جریمه معطلی کشتی یا خروج کشتی با تعداد کانتینر کمتر نگردد. بنابراین شناسایی چرخه تقاضا، مدیریت و تصمیم‌گیری و عملیات در محدوده پایانه‌های کانتینرهای خالی می‌تواند منجر به بهبود عملکرد این چرخه در مواقع اوج تقاضا و عملیات بهره‌برداری روزانه گردد.

۲-پیشینه تحقیق

بررسی سابقه مطالعات نشان می‌دهد که یکی از ابزارهای مناسب بهینه‌سازی عملیات در پایانه‌های کانتینری استفاده از ابزار شبیه‌سازی سیستم است. از اینرو در مطالعات متعددی از نرم‌افزارهای مختلفی جهت شبیه‌سازی عملیات در پایانه کانتینری استفاده شده است. نتایج مدلسازی‌های انجام گرفته نشان‌دهنده بهینه‌سازی عملیات بندری، کاهش میزان صف و زمان توقف، کاهش انباشت کانتینرهای خالی در محل دپو یا اسکله با استفاده از ابزار مدلسازی است. تاریخچه شبیه‌سازی عملیات بندری به چند دهه پیش باز می‌گردد. در طول سال‌ها، تحقیقات و توسعه‌های بسیاری برای افزایش دقت و قابلیت اجرای شبیه‌سازی‌های عملیات بندری انجام شده است. در مراحل اولیه، از مدل‌های ریاضی ساده برای تحلیل جنبه‌های خاص عملیات بندری مانند پهلوگیری شناورها و باربری استفاده می‌شد که عمدتاً مبتنی بر تئوری صف و تحلیل آماری بودند. با پیشرفت فناوری‌های رایانه‌ای، مدل‌های شبیه‌سازی پیچیده‌تری معرفی شدند که عواملی مانند جریان ترافیک کشتی، تخصیص اسکله، ذخیره و چیدمان کانتینرها و بهینه‌سازی منابع را در نظر می‌گرفتند. از دهه ۲۰۰۰ میلادی، توسعه مدلسازی مبتنی بر عامل و شبیه‌سازی رویداد گسسته، شبیه‌سازی‌های جامع‌تر و واقع‌گرایانه‌تری در حوزه عملیات بندری را به دنبال داشت که قادر بودند اندرکنش موجودیت‌های تعاملی مختلفی از قبیل کشتی‌ها، جرثقیل‌ها، کامیون‌ها و پرسنل را نیز لحاظ کنند. به عنوان یک نمونه، در سال ۲۰۱۵ شبیه‌سازی سیستم حمل‌ونقل داخلی پایانه‌های کانتینر خالی با استفاده از نرم افزار Simio در دانشگاه Delft با هدف دستیابی به مناسب‌ترین سیستم حمل‌ونقل برای تردد داخلی پایانه‌ها انجام شده است (Brands, 2015).

در سال ۲۰۱٦، مطالعه‌ای با هدف انتخاب بهترین چیدمان یک پایانه کانتینری در کشور سریلانکا با استفاده از شبیه‌سازی انجام شده است. با توجه به اینکه جابجایی کانتینرها در پایانه مستلزم صرف هزینه و زمان است، انتخاب چیدمان مناسب برای کانتینرها می‌تواند موجب کاهش هزینه و زمان در عملیات پایانه گردد (Gowrynathan et al., 2016).

از دیگر مطالعات انجام شده در خصوص بهینه‌سازی عملیات کانتینرهای خالی، می‌توان به شبیه‌سازی فرایند انتقال کانتینرهای خالی بین اسکله و پایانه در یکی از بنادر کشور مراکش اشاره کرد که در سال ۲۰۱۷ به انجام رسیده است. در این مطالعات طراحی عملیات جابجایی و شبیه‌سازی کانتینرهای خالی با در نظر گرفتن فعالیت‌های مرتبط در پایانه کانتینری پیشنهاد شده است. شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Arena برای یک بازه زمانی یک هفته‌ای انجام شده است. ایده اصلی مدلسازی انجام شده، پیشنهاد روش‌هایی برای تخصیص کانتینرهای خالی به مکان‌های

ذخیره‌سازی بر اساس مقصد کشتی، زمان حرکت و نوع کانتینرها است (Razouk & Benadada, 2017).

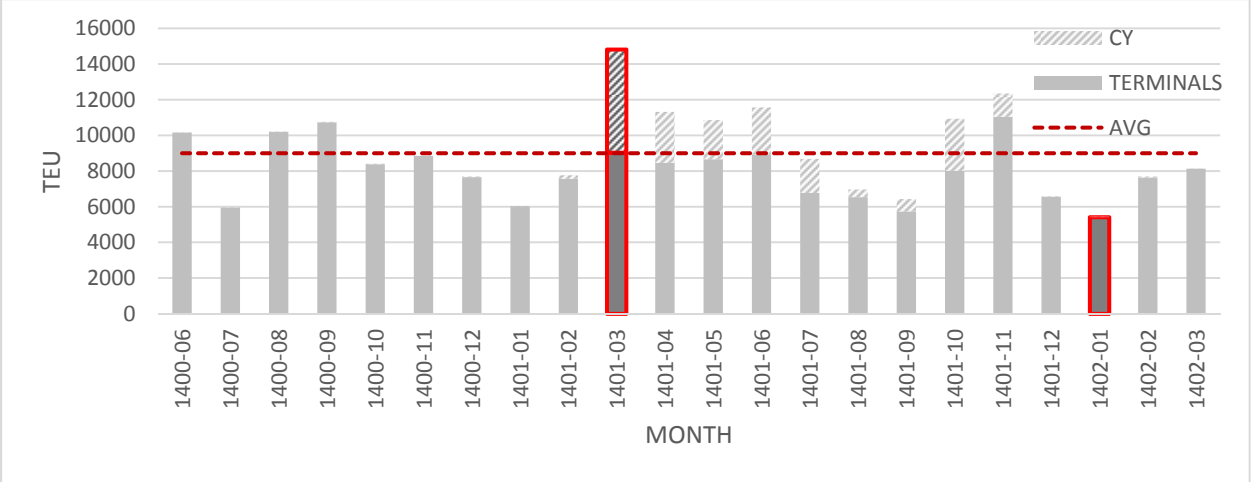
در سال ۲۰۱۸ مطالعه‌ای دیگر به منظور شبیه‌سازی و تحلیل جابجایی کانتینرها با استفاده از نرم افزار Arena انجام شد. در مطالعه مذکور، جرثقیل‌های محوطه و اسکله، وسایل نقلیه حمل‌ونقل داخل بندر و اپراتورها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج این تحقیق یک مدل شبیه‌سازی جدید برای مجموعه داده‌های پایانه توسعه‌یافته ارائه داده است که در آن کاربری، زمان انتظار و تعداد منابع پایانه تعیین شده‌اند (Derse & Göçmen, 2018).

یکی دیگر از مطالعاتی که با هدف بهینه‌سازی عملیات در پایانه‌های کانتینری انجام گرفته، تحلیل زمان توقف کانتینر در یکی از پایانه‌های بندری در کشور اندونزی در سال ۲۰۲۰ بوده است. این مطالعه از نرم‌افزار Arena جهت شبیه‌سازی رویداد گسسته برای مدل‌سازی سیستم، در داخل عملیات پایانه کانتینری استفاده کرده است. مدل شبیه‌سازی شده حاصل، از تفسیر یک سیستم واقعی متشکل از ترکیب منطق و ریاضیات در نظر گرفته شده است (Radifan et al., 2020).

۳- روش‌شناسی

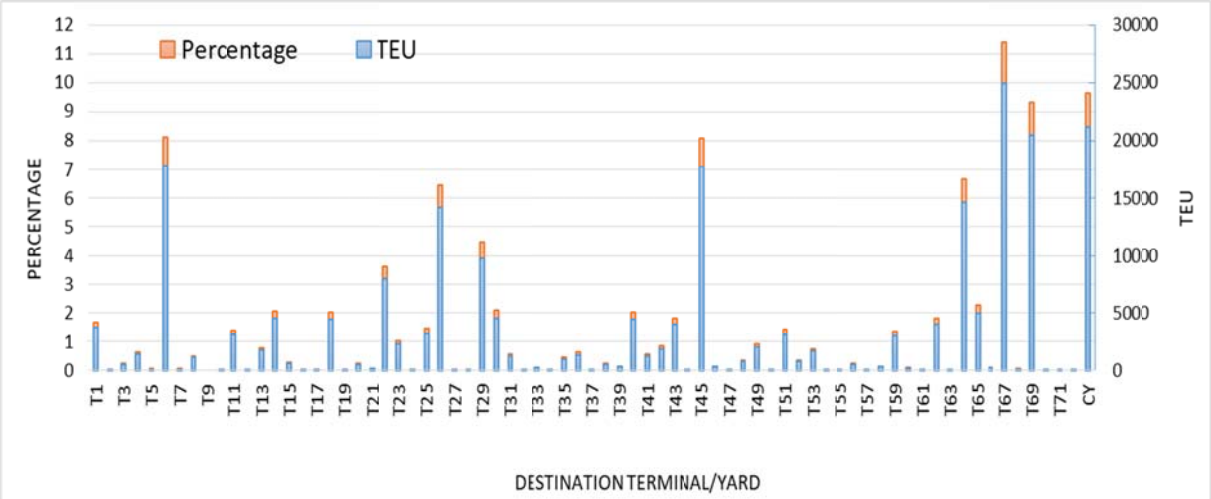
با توجه به سابقه مطالعات مشابه و بررسی‌های انجام شده، نرم‌افزار Arena ابزاری انعطاف‌پذیر و قدرتمند است که با استفاده از شبیه‌سازی فرآیندهای کاری، امکان تحلیل عملیات پیچیده بندری را دارد. این نرم‌افزار برای تجزیه و تحلیل تاثیر تغییرات شامل طراحی مجدد زنجیره تامین، فرآیندهای تولید، تدارکات، توزیع و انبارداری و طراحی سیستم‌های خدمات به صورت گسترده مورد استفاده قرار گرفته است. از این نرم‌افزار می‌توان برای شناسایی تنگناهای فرآیند، ایجاد صف و میزان بهره‌برداری از منابع استفاده نمود. با توجه به قابلیت‌های این نرم‌افزار، شبیه‌سازی توزیع کانتینرهای خالی ۲۰ فوتی از پایانه اختصاصی کانتینرهای خالی شرکت کشتیرانی جنوب–خط ایران به پایانه‌های مقصد و نیز اسکله کانتینری، با استفاده از نرم‌افزار مذکور شبیه‌سازی شده است.

اطلاعات مربوط به تقاضای پایانه‌های بندری و اسکله برای کانتینر خالی، به صورت روزانه در طول ۲۲ ماه از ابتدای شهریور ماه ۱۴۰۰ تا پایان خرداد ۱۴۰۲ در اختیار قرار دارد (شرکت کشتیرانی جنوب–خط ایران، ۱۴۰۲). مجموع تعداد کانتینرهای خالی ۲۰ فوتی ارسالی به پایانه‌ها و اسکله در بازه زمانی مطالعات در شکل نشان داده شده است. در این شکل مشخص است که تقاضاهای مربوط به ارسال کانتینر خالی به اسکله در برخی بازه‌های زمانی منجر به ایجاد پیک تقاضا می‌شود. در چنین شرایطی ارائه خدمات ارسال کانتینر خالی به پایانه‌ها و اسکله با مشکل مواجه می‌شود. بر اساس داده‌های در دسترس، بیشترین میزان تقاضای ماهانه برابر با ۱۴۸۲۶ TEU مربوط به خرداد ۱۴۰۱ و کمترین تقاضای ماهانه برابر با ۵۴۵۲ TEU مربوط به فروردین ۱۴۰۲ است. این دو تقاضا در شبیه‌سازی در نظر گرفته شده‌اند.



شکل ۱. تعداد کانتینرهای خالی ۲۰ فوتی ارسالی به پایانه‌ها و اسکله در طول ۲۲ ماه

توزیع مجموع کانتینرهای خالی ۲۰ فوتی تخصیص یافته به اسکله کانتینری و ۷۲ پایانه بندری، بر حسب تعداد و درصد در شکل نشان داده شده است.



شکل ۲. توزیع مجموع کانتینرهای خالی ارسالی به پایانه‌ها و اسکله در طول ۲۲ ماه بر حسب تعداد و درصد

همانگونه که در شکل مشخص است، عمده حجم تقاضای کانتینر خالی مربوط به تعداد محدودی از پایانه‌ها است. از این جدول ۱ مشخص شده‌اند. بر این اساس، ۲۱ پایانه بندری و نیز اسکله کانتینری بندر در بازه زمانی این مطالعه، حدود ۹۰ درصد تقاضا را به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین، شبیه‌سازی عملیات تخصیص کانتینر خالی بر اساس عملکرد ۲۱ پایانه اصلی و اسکله انجام شده است.

در این مطالعه فرض شده است که کانتینرهای خالی به تعداد کافی در پایانه اختصاصی شرکت کشتیرانی جنوب- خط ایران که در این مقاله با نام پایانه کانتینرهای خالی مورد اشاره قرار می‌گیرد ذخیره شده‌اند. بر اساس تقاضای ثبت و تایید شده ماهانه، کشنده‌های هر پایانه برای تحویل گرفتن کانتینرهای خالی به پایانه کانتینرهای خالی مراجعه می‌کنند. در خصوص کانتینرهای ارسالی به محوطه اسکله، این روند متفاوت است و ارسال کانتینرهای خالی با استفاده از کشنده‌های پایانه مبدا انجام می‌شود. هر کشنده، امکان جابجایی همزمان دو کانتینر ۲۰ فوتی را دارد لذا در شبیه‌سازی عملیات جابجایی، هر دو کانتینر ۲۰ فوتی به عنوان یک واحد ورودی به سیستم در نظر گرفته شده‌اند. در پایانه کانتینرهای خالی، دو نفر به عنوان مسئول عملیات اجرایی در نظر گرفته شده است که در طول ۱۲ ساعت کاری در رو، پایانه‌های اصلی متقاضی کانتینر خالی که میزان تقاضای آن‌ها بیش از یک درصد حجم کل تقاضا بوده است، در شبانه‌روز (شیفت روز) خدمات بارگیری کانتینرهای خالی روی کشنده‌ها را انجام می‌دهند. زمان مورد نیاز برای بارگیری هر کشنده با توزیع مثلثی (حداقل و حداکثر زمان ۲ و ۱۰ دقیقه و متوسط زمان ٦ دقیقه) فرض شده است. تعداد کشنده‌ها برای هر پایانه می‌تواند متفاوت باشد ولی بر اساس بررسی‌های میدانی، هر پایانه به طور متوسط از پنج کشنده برای انتقال کانتینرهای خالی استفاده می‌کند. تعداد کشنده‌های پایانه برای ارسال کانتینرهای خالی به اسکله، ١٤ عدد است. سرعت کشنده‌ها در محوطه بندری بین ۲۰ تا ٦۰ کیلومتر بر ساعت متغیر است که به زمان تردد و میزان ترافیک مسیرهای داخلی بستگی دارد. در این مطالعه، اطلاعات ترافیکی محوطه در دسترس نبوده است و سرعت حدودی کشنده‌ها ٤۰ کیلومتر بر ساعت فرض شده است. در پایانه‌های مقصد و اسکله نیز، دو نفر نیروی اجرایی برای تخلیه کشنده‌ها در نظر گرفته شده که عملیات مذکور را با توزیع مثلثی مشابه مرحله بارگیری انجام می‌دهند.

جدول ۱. تعداد و درصد کانتینرهای خالی ۲۰ فوتی ارسالی به پایانه‌های اصلی بندر شهید رجایی

ردیف	پایانه	مسافت تا پایانه مبدا (متر)	تعداد کل تقاضا در ۲۲ ماه (TEU)	درصد کل تقاضا (۲۲ ماه)	تقاضای ماهانه خرداد ۱۴۰۱ (TEU)	تقاضای ماهانه فروردین ۱۴۰۲ (TEU)
۱	T1	۱۵۰۰	۳۶۹۶	۱,۷	۵۰	۱
۲	T6	۴۰۰۰	۱۷۷۷۳	۸,۱	۷۴۰	۳۵۰
۳	T11	۳۳۰۰	۳۰۶۸	۱,۴	۳۳۵	۱۵۰
۴	T14	۱۵۰۰	۴۵۰۹	۲,۱	۱۴۵	۲۰۵
۵	T18	۲۴۰۰	۴۴۷۰	۲,۰	۳۵۸	۲۷۲
۶	T22	۱۷۰۰	۷۹۷۴	۳,۶	۸۰۰	۱۴۱
۷	T23	۷۰۰	۲۲۶۵	۱,۰	۷۱	۰
۸	T25	۳۱۰۰	۳۱۵۹	۱,۴	۲۶۱	۱۵
۹	T26	۳۴۰۰	۱۴۱۱۱	۶,۴	۷۶۷	۵۳۷
۱۰	T29	۳۴۰۰	۹۷۵۲	۴,۴	۹۸۳	۹۰
۱۱	T30	۲۰۰۰	۴۵۶۵	۲,۱	۱۸۶	۱۴۰
۱۲	T40	۲۳۰۰	۴۴۷۵	۲,۰	۱۰۵	۳۴۰
۱۳	T43	۲۰۰۰	۳۹۸۵	۱,۸	۳۴۸	۱۳۷
۱۴	T45	۳۷۰۰	۱۷۷۰۲	۸,۱	۴۸۳	۵۳۷
۱۵	T51	۱۳۰۰	۳۰۸۸	۱,۴	۱۱۱	۲۴
۱۶	T59	۲۷۰۰	۲۹۸۴	۱,۴	۱۵۰	۳۰
۱۷	T62	۳۰۰	۳۹۷۵	۱,۸	۴۵	۱۲۴
۱۸	T64	۳۷۰۰	۱۴۶۰۷	۶,۷	۷۰۹	۱۲۰
۱۹	T65	۲۳۰۰	۵۰۰۶	۲,۳	۲۲۷	۱۶۸
۲۰	T67	۱۲۰۰	۲۴۹۶۸	۱۱,۴	۱۳۳۵	۹۴۶
۲۱	T69	۱۷۰۰	۲۰۴۹۳	۹,۳	۸۲۴	۱۰۹۴
۲۲	CY	۲۵۰۰	۲۱۱۹۰	۹,۷	۵۷۹۳	۳۱
مجموع اسکله و پایانه‌های اصلی			**۲۱۵۸۹**	**۹۰,۲**	**۱۴۸۲۶**	**۵۴۵۲**
سایر پایانه‌ها			۱۹۷۸۱۵	۹,۸	۸۹۲	۱۰۶۹
مجموع کل			**۲۱۹۴۰۴**	**۱۰۰**	**۱۵۷۱۸**	**۶۵۲۱**

۴-تحلیل نتایج

۴-۱- شبیه‌سازی حداقل و حداکثر تقاضای ماهیانه

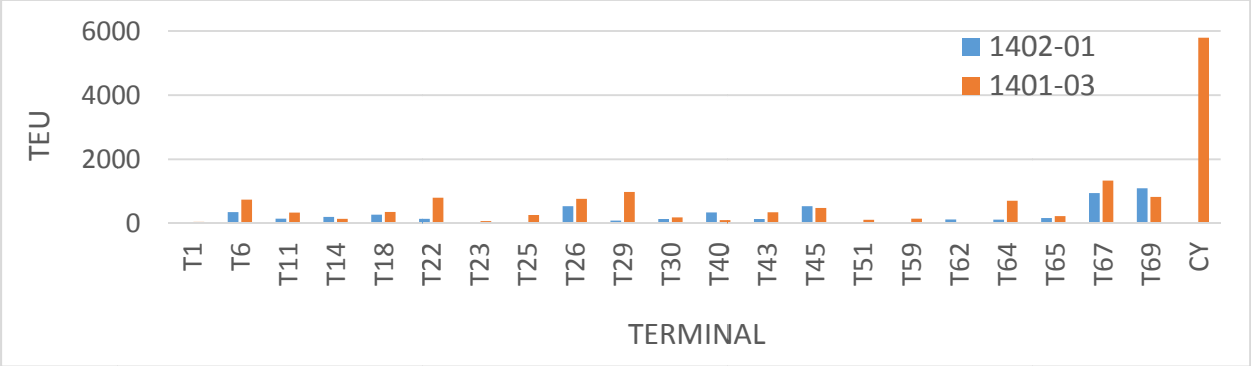
در ابتدا، شبیه‌سازی برای حداقل و حداکثر تقاضای ماهیانه به شرح جدول ۲ انجام شده است. توزیع تقاضا بین پایانه‌های اصلی و اسکله برای حالات مذکور در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به جابجایی همزمان دو کانتینر ۲۰ فوتی توسط یک کشنده، تعداد واحدهای ورودی به سیستم نصف میزان تقاضا در نظر گرفته می‌شود.

مراحل عملیاتی تخصیص کانتینرهای خالی در شکل ۲ نشان داده شده است. نمایی از مدل ساخته شده در نرم‌افزار بر اساس فلوچارت مذکور نیز در شکل ۳ قابل مشاهده است. در این مدل، ابتدا تقاضای هر پایانه توسط بلوک‌های Create وارد سیستم می‌شوند. با استفاده از بلوک Assign، تقاضای هر پایانه با تخصیص ویژگی مربوط به پایانه مورد نظر نشانه‌گذاری می‌شود تا امکان ردیابی و تخصیص آن در طول فرایند میسر شود. سپس تقاضای تمامی پایانه‌ها به پایانه مبدا که با بلوک Station تعریف شده اعلام می‌گردد. طبقه‌بندی تقاضاها بر مبنای پایانه مقصد بر اساس ویژگی تخصیص یافته توسط بلوک

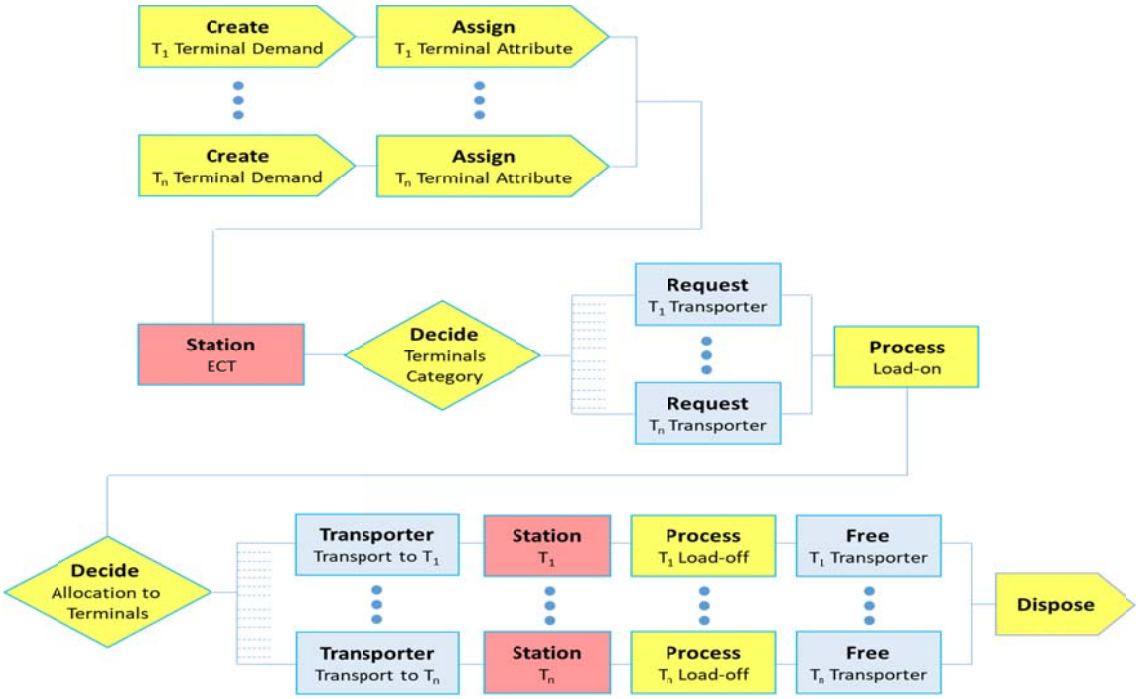
Decide انجام شده و سپس، کشنده‌های پایانه مقصد توسط بلوک Request فراخوانی می‌شوند. فرایند بارگیری، با استفاده از بلوک Process به مدل معرفی می‌شود. سپس با استفاده مجدد از بلوک Decide، کشنده‌های بارگیری شده بر اساس مقصد جدا شده و با استفاده از بلوک Transporter، کانتینرهای خالی به سمت پایانه‌های متقاضی یا اسکله که با بلوک Station در مدل مشخص شده‌اند، جابجا می‌شوند. فرایند تخلیه کانتینرهای خالی از روی کشنده‌ها نیز توسط بلوک Process تعریف می‌شوند. پس از تخلیه کانتینرها، کشنده باید با استفاده از بلوک Free آزاد شده و به چرخه انتقال بازگردد.

جدول ۲. شرایط شبیه‌سازی عملیات تخصیص کانتینرهای خالی

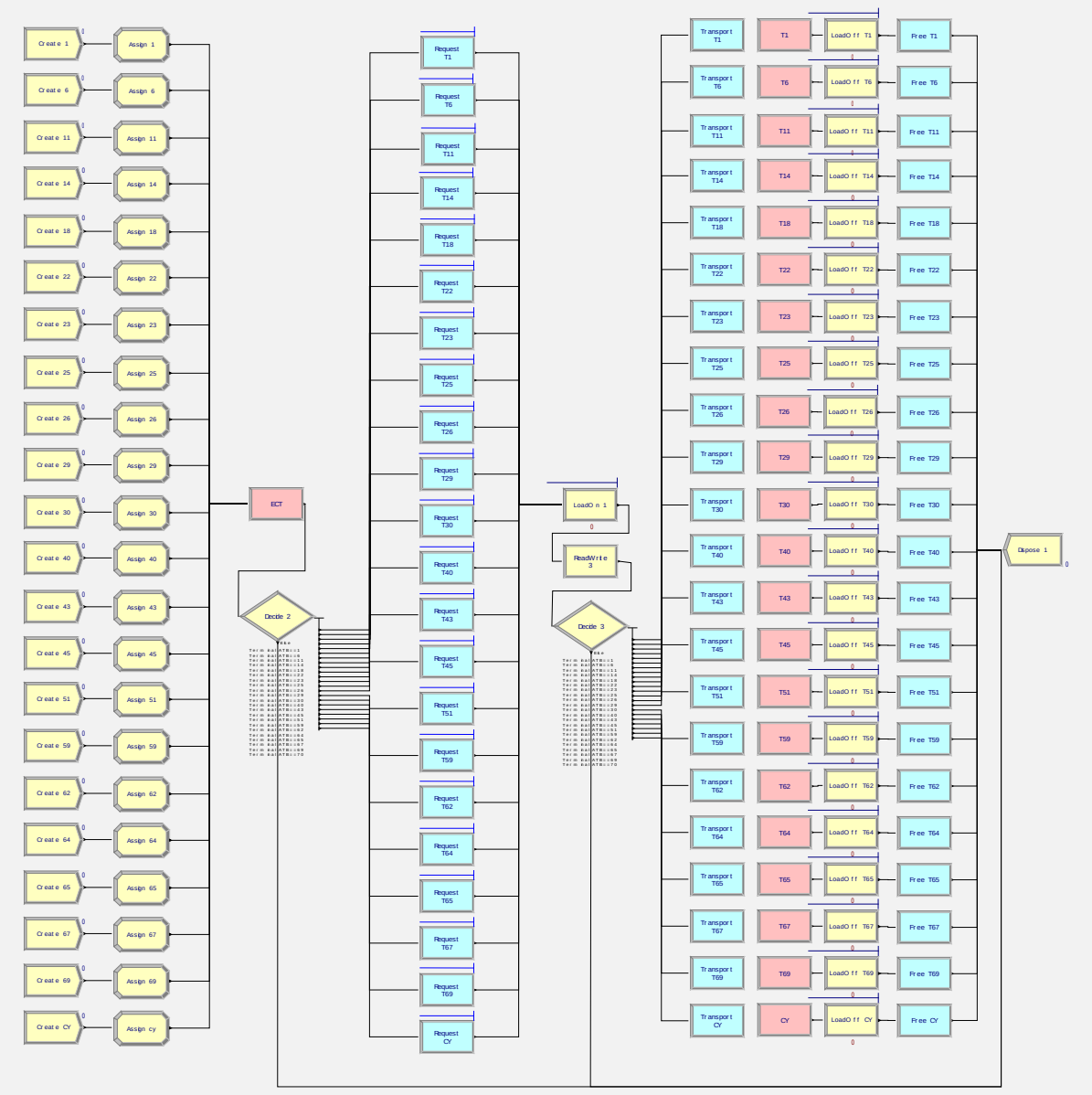
وضعیت تقاضا	ماه	مجموع تقاضا (TEU)	تعداد واحد ورودی به سیستم
حداقل تقاضای ماهانه	۱۴۰۲-۰۱	۵۴۵۲	۲۷۲۶
حداکثر تقاضای ماهانه	۱۴۰۱-۰۳	۱۴۸۲۶	۷۴۱۳



شکل ۱. توزیع تقاضا بین پایانه‌های اصلی و اسکله برای حالت‌های مختلف



شکل ۲. فلوچارت عملیات تخصیص کانتینرهای خالی



شکل ۳. نمایی از مدل طراحی شده در محیط نرم‌افزار

متوسط زمان انتقال و انتظار برای واحدهای ورودی به سیستم (مجموعه دو کانتینر ۲۰ فوتی) برای شرایط مختلف تقاضا در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. متوسط زمان انتقال و انتظار برای واحدهای ورودی به سیستم بر حسب ساعت

وضعیت تقاضا	واحد ورودی (تعداد)	مدت زمان عملیات	متوسط زمان انتقال هر واحد	متوسط زمان انتظار هر واحد
حداقل تقاضای ماهانه	۲۷۲۶	۱۳۷	۰,۰۶	۶۸
حداکثر تقاضای ماهانه	۷۴۱۳	۳۷۲	۰,۰۶	۱۸۵

همانگونه که در جدول ۳ ملاحظه می‌شود، در شرایط کمترین تقاضای ماهانه که در فروردین ۱۴۰۲ رخ داده است، مدت زمان مورد نیاز برای تخصیص و ارسال کانتینرهای خالی حدود ۱۳۷ ساعت برآورد شده است. با توجه به اینکه ۱۲ ساعت کاری در طول شبانه‌روز در نظر گرفته شده است، ۱۲ روز برای انتقال کانتینرهای خالی در این شرایط لازم است. بنابراین مدیریت زمانی چنین تقاضایی در دوره زمانی یک ماه قابل انجام است.

با توجه به اینکه همزمان دو کشنده در پایانه کانتینرهای خالی بارگیری می‌شوند و متوسط ٦ دقیقه برای زمان بارگیری فرض شده است، مجموع زمان لازم برای بارگیری ۲۷۲٦ کشنده، ۱۳٦,۳ ساعت خواهد بود. بنابراین اجرای مدل برای شرایط حداقل تقاضا در پایانه نشان می‌دهد که گلوگاه سیستم، مرحله بارگیری در پایانه مبدا است. برای اطمینان بیشتر، مدل مذکور با فرض در نظر گرفتن تنها یک کشنده برای هر پایانه تکرار شد. در چنین شرایطی، مدت زمان لازم برای ارسال تمامی کانتینرها به حدود ۱۹۸ ساعت (معادل ۱٦,۵ روز) افزایش می‌یابد. افزایش تعداد کشنده‌ها نیز نشان داد تعداد کشنده‌هایی که در شرایط فعلی برای عملیات ارسال کانتینرهای خالی مورد استفاده قرار می‌گیرد کافی است و افزایش بیش از آن نقشی در کاهش زمان کلی عملیات ندارد. خروجی نرم‌افزار در خصوص زمان اختصاص یافته به هر واحد (جدول ٤)، نشان از آن دارد که زمان انتقال واحدها در مقایسه با زمان انتظار آن‌ها ناچیز است. در سناریوی کمترین تقاضا، متوسط زمان انتظار برای هر واحد ۷٤/٦۳ ساعت و متوسط زمان انتقال ۰/۰٦ ساعت محاسبه شده است. بنابراین تغییر در فرضیات مربوط به سرعت کشنده‌ها نمی‌تواند تاثیر قابل‌توجهی در خروجی مدل ایجاد نماید.

جدول ٤. زمان اختصاص یافته به هر واحد در مراحل انتظار و انتقال در سناریوی مینیمم تقاضای ماهانه (ساعت)

Entity

Time

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
2 x 20ft	74.63	(Correlated)	0.15	198.09
Transfer Time	**Average**	**Half Width**	**Minimum Value**	**Maximum Value**
2 x 20ft	0.06	(Correlated)	0.01	0.10

در شرایط بیشترین تقاضای ماهانه که در خرداد ۱٤۰۱ به وقوع پیوسته است، مدت زمان مورد نیاز برای انجام عملیات ارسال کانتینرهای خالی به حدود ۳۷۲ ساعت معادل ۳۱ روز می‌رسد. این زمان، مربوط به مرحله بارگیری در پایانه مبدا است که معادل بارگیری همزمان دو کشنده و تعداد کل بارگیری ۷٤۱۳ کشنده با متوسط زمان ٦ دقیقه برای هر بارگیری است. بنابراین در شرایط حداکثر تقاضای ماهانه نیز، گلوگاه سیستم در مرحله بارگیری در پایانه مبدا است. در صورت تکرار مدلسازی با در نظر گرفتن تنها یک کشنده برای هر پایانه، مدت زمان لازم برای ارسال تمامی کانتینرها به حدود ۱۰٤۰ ساعت (معادل ۸۷ روز) افزایش می‌یابد. تکرار مدلسازی با افزایش تعداد کشنده‌ها نیز نشان داد تعداد کشنده‌هایی که در شرایط فعلی برای عملیات ارسال کانتینرهای خالی مورد استفاده قرار می‌گیرد کافی است و افزایش بیش از آن نقشی در کاهش زمان کلی عملیات ندارد.

خروجی نرم‌افزار در خصوص زمان اختصاص یافته به هر واحد (جدول) در شرایط حداکثر تقاضا نیز نشان می‌دهد زمان انتقال واحدها در مقایسه با زمان انتظار آن‌ها ناچیز است. در سناریوی بیشترین تقاضا، متوسط زمان انتظار برای هر واحد ۱۸۵ ساعت محاسبه شده درحالیکه متوسط زمان انتقال مشابه شرایط حداقل تقاضای ماهانه ۰/۰٦ ساعت است.

جدول ۵. زمان اختصاص یافته به هر واحد در مراحل انتظار و انتقال در سناریوی ماکزیمم تقاضای ماهانه (ساعت)

Entity

Time

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
2 x 20ft	185.31	(Correlated)	0.15	371.71
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
2 x 20ft	0.06	(Correlated)	0.01	0.10

مقایسه طول صف در مراحل بارگیری و تخلیه (جدول ۵) نیز نشان از آن دارد که در مرحله تخلیه کانتینرها در پایانه‌های متقاضی، تقریباً صفی ایجاد نمی‌شود اما در مرحله بارگیری کانتینرهای خالی از پایانه مبدا، با توجه به اینکه تمامی کشنده‌های پایانه‌های متقاضی از یک ورودی مشترک عبور می‌کنند، صف شکل گرفته است. بنابراین تغییر در فرضیات مربوط به سرعت کشنده‌ها و عملیات تخلیه در پایانه‌های متقاضی تاثیری در نتایج کلی ندارد.

جدول ۵. طول صف در مراحل بارگیری و تخلیه

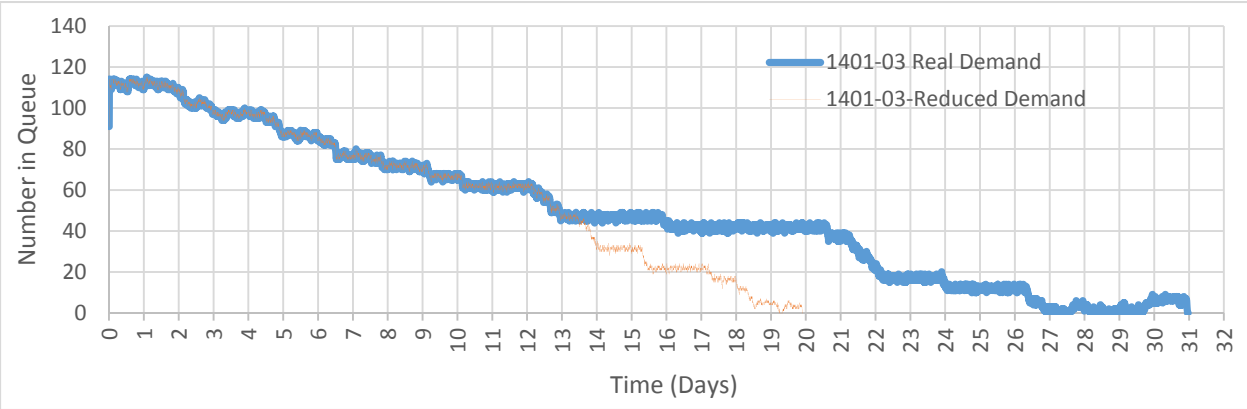
بارگیری/تخلیه در پایانه/اسکله	طول صف (تعداد)		
	متوسط	حداقل	حداکثر
بارگیری - **ECT**	۵۰	۰	۱۱۷
تخلیه - **T1**	۰	۰	۱
تخلیه - **T6**	۰	۰	۲
تخلیه - **T11**	۰	۰	۲
تخلیه - **T14**	۰	۰	۲
تخلیه - **T18**	۰	۰	۲
تخلیه - **T22**	۰	۰	۲
تخلیه - **T23**	۰	۰	۲
تخلیه - **T25**	۰	۰	۲
تخلیه - **T26**	۰	۰	۳
تخلیه - **T29**	۰	۰	۲
تخلیه - **T30**	۰	۰	۲
تخلیه - **T40**	۰	۰	۲
تخلیه - **T43**	۰	۰	۲
تخلیه - **T45**	۰	۰	۲
تخلیه - **T51**	۰	۰	۲
تخلیه - **T59**	۰	۰	۲
تخلیه - **T62**	۰	۰	۲
تخلیه - **T64**	۰	۰	۲
تخلیه - **T65**	۰	۰	۲
تخلیه - **T67**	۰	۰	۳
تخلیه - **T69**	۰	۰	۲
تخلیه - **CY**	۱	۰	۱۰

٤-٢- توزیع مکانی محل ذخیره کانتینرهای خالی

نتایج شبیه‌سازی حداکثر تقاضای ماهانه در خرداد ۱۴۰۱ نشان داد که با نیاز به حدود ۳۱ روز برای عملیات ارسال کانتینرهای خالی به پایانه‌های متقاضی و اسکله، امکان ارسال به موقع تمامی تقاضا در طول ماه وجود ندارد. با توجه به اینکه برای جلوگیری از جریمه‌های معطلی کشتی یا خروج کشتی با تعداد کانتینر کمتر، ارسال کانتینر خالی به اسکله باید ظرف چند روز انجام شود، مدیریت زمانی ارسال همزمان کانتینر به اسکله و پایانه‌ها با پیچیدگی بالایی مواجه می‌شود.

یکی از راهکارهای موجود برای بهبود مدیریت تخصیص کانتینرهای خالی این است که با برنامه‌ریزی قبلی، حجم عملیات روزانه ارسال کانتینر به پایانه‌های متقاضی را کاهش داد. در این راستا می‌توان با پیش‌بینی تعداد تقاضای ماهانه در هر پایانه، بخشی از آن‌را از پیش (در دوره کاهش تقاضا یا شیفت‌های کاری شبانه) در پایانه مورد نظر ذخیره کرد و یا از کانتینرهای ورودی استریپ شده در آن پایانه استفاده نمود. برای پیش‌بینی تقاضای ماهیانه در پایانه‌ها می‌توان از روش‌های نوین مبتنی بر هوش مصنوعی و شبکه‌های عصبی بهره گرفت (صداقی و شیوافر، ۱۴۰۲). چنانچه تنها بخشی از مقادیر تقاضای پیش‌بینی شده در پایانه‌های اصلی از پیش در همان پایانه‌ها دپو شود (یا از ظرفیت کانتینرهای استریپ شده همان پایانه استفاده شود)، با کاهش میزان تقاضای کل در زمان پیک، مدیریت عملیات ماهانه تسهیل خواهد شد. در این بخش از مقاله، تاثیر راهکار مذکور بر مدیریت زمانی ارسال کانتینرهای خالی در زمان اوج تقاضا با استفاده از شبیه‌سازی عملیات مورد بررسی قرار گرفته است. پایانه‌هایی که در خرداد ماه ۱۴۰۱، بیشترین تقاضای کانتینر خالی (بیش از ۵ درصد مجموع تقاضای ۲۱ پایانه اصلی و اسکله) را به خود اختصاص داده‌اند در جدول ٦ مشخص شده‌اند.

بر اساس ارقام ارائه شده، تقاضای پنج پایانه T22، T26، T29، T67، T69 و اسکله کانتینری بیش از ۵ درصد مجموع تقاضای ۲۱ پایانه اصلی و اسکله است. شبیه‌سازی عملیات با فرض اینکه ۵۰ درصد تقاضای پایانه‌های مذکور و اسکله با برنامه‌ریزی قبلی ارسال شده باشند، تکرار شده است. با این اقدام، با کاهش تعداد تقاضای کل از ۷٤۱۳ واحد به ٤۷۸۸ واحد، زمان کل عملیات از ۳۷۲ ساعت (۳۱ روز و با فرض روزانه ۱۲ ساعت کاری) به ۲٤۰ ساعت (۲۰ روز) کاهش یافته است. در صورتیکه پاسخگویی به تقاضای تمام پایانه‌ها و اسکله از ابتدا به صورت همزمان آغاز شود، طول صف در روزهای ابتدایی مشابه شرایط اولیه (قبل از اعمال سناریوی اصلاح تقاضا) است اما تعداد واحدهای در انتظار انتقال، بعد از روز سیزدهم کاهش یافته و مجموع زمان مورد نیاز برای تخصیص کانتینرهای خالی نیز به ۲۰ روز کاهش می‌یابد (شکل ٤).



شکل ٤. مقایسه طول صف بارگیری برای تقاضای خرداد ماه ۱۴۰۱ و سناریوی اصلاح تقاضا

جدول ٦. تقاضای پایانه‌ها در خرداد ماه ۱۴۰۱ و تقاضای اصلاح شده در پایانه‌های با تقاضای بیش از ۵٪

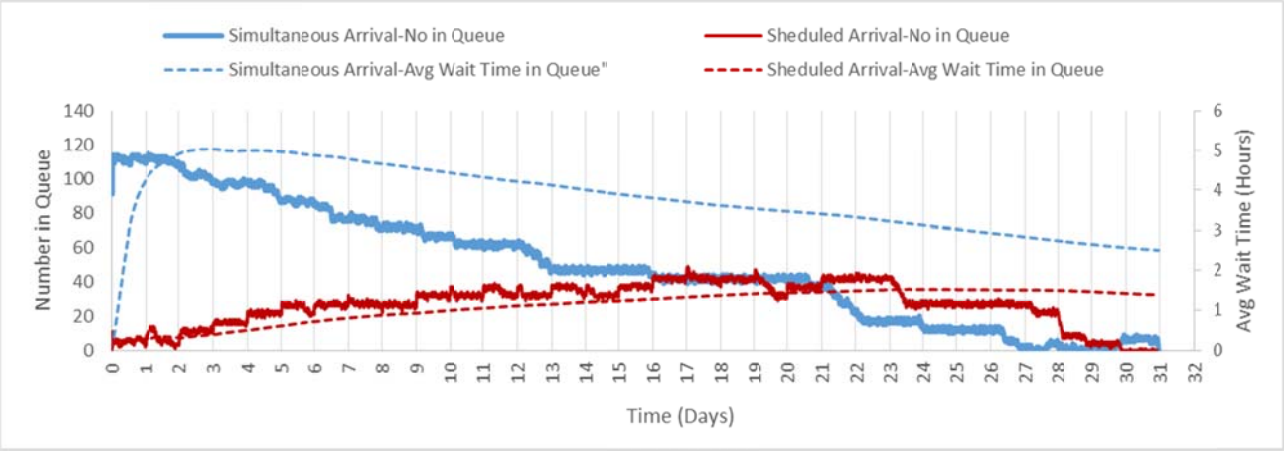
ردیف	پایانه	بیشینه تقاضای ماهانه (خرداد ۱۴۰۱)		تقاضا در سناریوی اصلاحی
		TEU	درصد	TEU
۱	T1	۵۰	۰,۳	۵۰
۲	T6	۷۴۰	۵,۰	۷۴۰
۳	T11	۳۳۵	۲,۳	۳۳۵
٤	T14	۱٤۵	۱,۰	۱٤۵
۵	T18	۳۵۸	۲,٤	۳۵۸
٦	T22	۸۰۰	۵,٤	٤۰۰
۷	T23	۷۱	۰,۵	۷۱
۸	T25	۲٦۱	۱,۸	۲٦۱
۹	T26	۷٦۷	۵,۲	۳۸٤
۱۰	T29	۹۸۳	٦,٦	٤۹۱
۱۱	T30	۱۸٦	۱,۳	۱۸٦
۱۲	T40	۱۰۵	۰,۷	۱۰۵
۱۳	T43	۳٤۸	۲,۳	۳٤۸
۱٤	T45	٤۸۳	۳,۳	٤۸۳
۱۵	T51	۱۱۱	۰,۷	۱۱۱
۱٦	T59	۱۵۰	۱,۰	۱۵۰
۱۷	T62	٤۵	۰,۳	٤۵
۱۸	T64	۷۰۹	٤,۸	۷۰۹
۱۹	T65	۲۲۷	۱,۵	۲۲۷
۲۰	T67	۱۳۳۵	۹,۰	٦٦۸
۲۱	T69	۸۲٤	۵,٦	٤۱۲
۲۲	CY	۵۷۹۳	۳۹,۱	۲۸۹٦
	مجموع تقاضا	۱٤۸۲٦	۱۰۰	۹۵۷۵
	مجموع واحدهای ورودی	۷٤۱۳		٤۷۸۸

٤-۳-کاهش طول صف و زمان انتظار

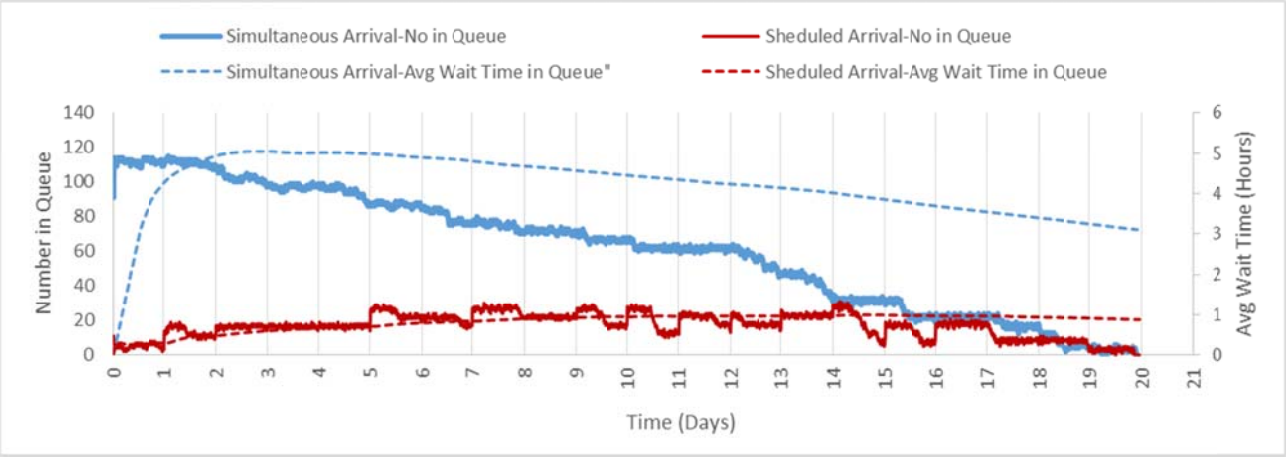
در شکل ۵ تعداد واحدهای در صف بارگیری و متوسط زمان انتظار در صف برای تقاضای خرداد ماه ۱۴۰۱ نشان داده شده است. با توجه به اینکه در شبیه‌سازی انجام شده، پاسخگویی به تقاضای تمام پایانه‌ها و اسکله از ابتدا به صورت همزمان آغاز شده است، بیشترین تعداد در صف و زمان انتظار در اولین روز به سرعت افزایش یافته و سپس به تدریج کاهش می‌یابد. حداکثر طول صف در این شرایط ۱۱۷ عدد و حداکثر زمان انتظار در صف به حدود ۵ ساعت رسیده است. اما در واقعیت، بر اساس تجربه از تشکیل چنین صفی جلوگیری می‌شود و فراخوانی کشنده‌ها با توجه به شرایط صف انجام می‌شود. برای مثال

چنانچه انتقال کانتینرهای خالی اسکله با اولویت و از ابتدای ماه آغاز شود و فراخوانی سایر پایانه‌ها به صورت روزانه انجام گیرد (یعنی در هر روز کشنده‌های یک پایانه به سیستم اضافه شود)، می‌توان با حفظ زمان کلی عملیات، حداکثر طول صف را از ۱۱۷ به ۴۹ عدد و حداکثر میانگین زمان انتظار در صف را از ۵ ساعت به ۱/۵ ساعت کاهش داد. البته برنامه‌ریزی برای فراخوانی کشنده‌ها باید با احتیاط انجام گیرد چراکه ممکن است در کنار کاهش طول صف، منجر به افزایش زمان کلی عملیات گردد. شبیه‌سازی عملیات می‌تواند در پیش‌بینی زمان کلی و جلوگیری از چنین معضلی راهگشا باشد.

تاثیر فراخوانی غیرهمزمان کشنده‌های پایانه‌های متقاضی بر اساس برنامه‌ریزی روزانه برای سناریوی کاهش تقاضا (با ذخیره پیش از موعد ۵۰ درصد تقاضا در چند پایانه اصلی) نیز مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج شبیه‌سازی طبق شکل ٦ نشان می‌دهد که این راهکار می‌تواند طول صف را از ۱۱۷ به ۳۱ عدد (کاهش ۷٤ درصدی) و حداکثر میانگین زمان انتظار در صف را از ۵ ساعت به ۱ ساعت (کاهش ۸۰ درصدی) برساند.



شکل ۵. مقایسه صف بارگیری در دو حالت فراخوانی همزمان / غیرهمزمان کشنده‌ها- خرداد ماه -۱۴۰۱



شکل ٦. مقایسه صف بارگیری در دو حالت فراخوانی همزمان / غیرهمزمان کشنده‌ها- سناریوی اصلاح تقاضا

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، فرایند تخصیص کانتینرهای خالی به پایانه‌های متقاضی و اسکله کانتینری بندر شهید رجایی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به حجم بالای تقاضا از جانب متقاضیان متعدد، مدیریت توزیع و تحویل/دریافت کانتینرهای خالی با پیچیدگی بسیاری همراه بوده به گونه‌ای که در زمان اوج تقاضا، تشکیل صف و کاهش بهره‌وری عملیات بندری را به همراه دارد. این موضوع در زمان‌هایی که تقاضا برای صادرات کانتینر خالی از طریق شناور وجود داشته باشد پیچیده‌تر نیز می‌شود چرا که حجم تقاضای شناورها در اسکله بسیار بالا است و باید در مدت زمان محدودی انجام شود تا منجر به تبعات مالی جریمه معطلی کشتی یا خروج کشتی با تعداد کانتینر کمتر نگردد. بنابراین شناسایی چرخه تقاضا، مدیریت و تصمیم‌گیری و عملیات در محدوده پایانه‌های کانتینرهای خالی می‌تواند منجر به بهبود عملکرد این چرخه در مواقع اوج تقاضا و عملیات بهره‌برداری روزانه گردد. برای این منظور، شبیه‌سازی فرایند تخصیص کانتینرهای خالی از زمان تعیین حجم تقاضا تا ارسال و تحویل نهایی آن به پایانه‌های متقاضی و اسکله کانتینری در یک دوره یک ماهه با استفاده از نرم‌افزار Arena انجام شد. نتایج شبیه‌سازی در دو حالت کمترین و بیشترین تقاضای ثبت شده ماهانه نشان داد که گلوگاه سیستم در مرحله بارگیری در پایانه نگهداری از کانتینرهای خالی است. حساسیت‌سنجی در خصوص تعداد کشنده‌هایی که برای عملیات ارسال کانتینرهای خالی مورد استفاده قرار می‌گیرند، نشان داد که تعداد فعلی کشنده‌های مورد استفاده (۵ کشنده برای هر پایانه و ١٤ کشنده برای اسکله کانتینری) کافی است و افزایش تعداد کشنده‌ها نمی‌تواند نقشی در کاهش زمان کلی عملیات داشته باشد. کاهش تعداد فعلی کشنده‌ها خصوصاً در مورد اسکله کانتینری می‌تواند منجر به افزایش زمان کلی عملیات شود. همچنین مقایسه زمان‌های اختصاص یافته به هر کشنده نشان از آن دارد که زمان انتقال در مقایسه با زمان انتظار آن‌ها ناچیز است و بنابراین تغییر در فرضیات مربوط به سرعت کشنده‌ها و مسیرهای انتقال، تاثیر قابل‌توجهی در زمان کلی عملیات ندارد. در نهایت، شبیه‌سازی انجام شده نشان داد با اعمال راهکارهایی همچون توزیع مکانی محل ذخیره کانتینرهای خالی (ارسال پیش از موعد نیمی از تقاضای ماهانه به چند پایانه اصلی در شیفت‌های شبانه یا دوره‌های با تراکم عملیاتی سبک) و نیز فراخوانی غیر همزمان کشنده‌ها بر اساس برنامه‌ریزی قبلی می‌توان طول صف و میانگین زمان انتظار در صف را به ترتیب تا ٧٤ و ٨٠ درصد کاهش داد. نرم‌افزارهای شبیه‌سازی می‌توانند به عنوان ابزاری مناسب برای برنامه‌ریزی فرایند عملیات و فراخوانی کشنده‌ها جهت کاهش طول صف و زمان انتظار کشنده‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

٦-مراجع

-شرکت کشتیرانی جنوب- خط ایران، آمار روزانه کانتینرهای خالی از شهریور ١٤٠٠ تا خرداد ١٤٠٢.

- صداقی، سیده معصومه، و شیوافر، ایمان (١٤٠٢)، پیش‌بینی تقاضای کانتینر خالی با استفاده از شبکه‌های عمیق، مطالعه موردی بندر شهید رجایی، *پژوهشنامه حمل و نقل* (در دست انتشار)

- Brands, M. J. M. (2015). A SIMIO simulatiom model for the evaluation of inter terminal transport systems at Maasvlakte 1 and 2 in 2030, *Master's thesis, Delft University of Technology*, http://resolver.tudelft.nl/uuid:e93ca2ce-a697-411e-8c28-1d5ee4aaf181

-O. Derse, O., & Göçmen, E. (2018). A Simulation Modeling Approach for Analyzing the Transportation of Containers in a Container Terminal System. *International Scientific and Vocational Journal, 2(1)*, 19-28.

-J. Gowrynathan, J., Chandrakumar, C., & Kulatunga, A. (2016). Selecting the best layout for the container terminal using Modeling and Simulation Techniques (paper presentation). *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, March 8-10 Kuala Lumpur, Malaysia.

-Radifan, H., Gurning, R. O. S., & Handani, D. W. (2020). Analysis of the Container Dwell Time at Container Terminal by Using Simulation Modelling. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, *5*(1), 34-43.

-Razouk, C., & Benadada, Y. (2017). Optimization and simulation approach for empty containers handling. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*,11(8), 520-525.

Optimization of Empty Container Operations through Simulation

(Case Study: Shahid Rajaee Port)

Seyede Masoome Sadaghi, Assistant Professor, Department of Maritime Transport, Road, Housing and Urban Development Research Center (BHRC), Tehran, Iran.

Iman Shivafar, M.Sc., Grad., Department of Civil Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

E-mail: s.sadaghi@bhrc.ac.ir

Received: September 2003 Accepted: January 2024

ABSTRACT

Port operation management plays a crucial role in the shipping industry and maritime trade. Various methods and tools can be used to improve port operations management, including the application of simulation software for port operations. These software are typically used to optimize port operations, capacity assessment, container loading and unloading traffic, storage management, container location and allocation, ship scheduling, and similar tasks. Shahid Rajaee Port, as the largest and most important commercial port in Iran, is one of the most vital and densely configured ports of the country, and its operation management is very complex due to the diversity, extent and overlap of activities. The use of simulation software can play an effective role in improving operational management in this port. Empty container allocation is one of the port operations which is carried out by the South Shipping Line- Iran Line company as the operational arm of the Islamic Republic of Iran Shipping Lines Group and the main provider and responsible party for the majority of empty container operations. In this article, the process of sending empty containers to requesting terminals has been simulated using ARENA software. The results show that by implementing management measures such as spatial distribution of empty container storage locations and asynchronous calling of trucks based on a pre-scheduled plan, the queue length and average waiting time in the queue can be reduced by up to 74% and 80% respectively.

Keywords: Optimization, Empty Container, Simulation