

تحلیل اثر تعداد تجهیزات بر عملکرد محوطه ذخیره کانتینری بندر با

استفاده از نرم افزار Enterprise Dynamics

محمد یوسف مقدم^۱، روزبه پناهی^{۲*}، بابک فرهنگ مقدم^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های دریایی، دانشگاه تربیت مدرس؛

۲. استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس؛

۳. استادیار دانشکده مهندسی صنایع، موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه ریزی؛

*rpanahi@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۸/۷/۳۰

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۲

چکیده

رشد سریع و روزافزون کانتینرها و نیاز به ذخیره سازی حجم انبوهی از آنها در فضای نسبتاً کم در محوطه بندر، بر اهمیت پایانه های کانتینری افزوده است. این موضوع مباحث طراحی، برنامه ریزی و بهره برداری بهینه از تمامی بخش های پایانه را با توجه به تعدد عوامل اثرگذار و اندرکنش میان آنها به عنوان یک چالش پژوهشی مهم مطرح نموده است. در این میان، محوطه ذخیره کانتینر که غیر از پایانه های بندری، در بندرهای خشک و سایر پایانه ها نیز کاربرد دارد روزبه روز بیشتر مورد توجه قرار گرفته و نقش آن پررنگ تر شده است. هدف اصلی از انجام این پژوهش بررسی اندرکنش استفاده از تعداد مختلف تجهیزات و عملکرد محوطه ذخیره کانتینری است. بر این اساس، این مقاله با شبیه سازی گسسته تمامی فعالیت های مرتبط با بهره برداری در داخل محوطه ذخیره، تعداد بهینه تجهیزات و چیدمان مناسب آنها در محوطه را تحلیل نموده است. نتایج این پژوهش با توجه به مدل های ساخته شده بر اساس تغییر تعداد ترانستینرها و کشنده ها در محدوده عملکرد مجاز آنها از کمترین تعداد ممکن تا بیشترین آنها و با ثابت فرض کردن سایر پارامترها، بدست آمده است که مربوط به شبیه سازی محوطه ذخیره سینا، واقع در بندر شهیدرجایی (بندرعباس، ایران) و با استفاده از نرم افزار اینترپرایز داینامیکس است. بدین ترتیب امکان شناسایی چینش مناسب تجهیزات با در نظر گرفتن دو عامل مهم کنترل در پروژه یعنی زمان و هزینه برای محوطه مذکور فراهم شده است. با توجه به در دسترس نبودن برخی اطلاعات میدانی مورد نیاز در شبیه سازی و همچنین پیچیده بودن عملیات ساخت مدل ها از فرضیاتی همچون یکسان در نظر گرفتن ویژگی بلوک های کانتینری و کانتینرها، مستطیل در نظر گرفتن زمین محوطه، انتخاب کوتاه ترین مسیر حرکتی در شبکه حمل و نقلی توسط تجهیزات و همچنین در نظر گرفتن برخی از توابع احتمالی در عملکرد تجهیزات محوطه و جریان بار ورودی به محوطه استفاده شده است. استفاده از ابزار شبیه سازی ذکر شده در مطالعه موردی این پژوهش نشان می دهد که استفاده از استراتژی مناسب انتقال وظایف میان تجهیزات و نیز تخصیص مناسب آنها به بلوک ها، منجر به بهبودهایی از جمله کاهش متوسط زمان بیکاری مجموع کشنده ها به میزان ۱۵٪ و کاهش تعداد آنها از ۱۰ عدد به ۵ عدد، بهبود عملکرد

ترانستینرها به لحاظ زمان مفید کاری به میزان ۱۲٪ و کاهش تعداد آن‌ها از ۶ عدد به ۵ عدد خواهد شد؛ همچنین نتایج به دست آمده از مدل‌های مختلف شبیه‌سازی شده گویای کاهش زمان بهره‌برداری با افزایش تعداد کشنده‌ها به صورت یک رابطه درجه دوم تا تعداد مشخصی از کشنده (نقطه بحرانی) است، در صورتی که تعداد کشنده‌ها از تعداد مشخصی بیشتر شود تأثیری بر کاهش زمان نخواهند داشت که از دلایل آن می‌توان به ترافیک ایجاد شده در مسیر حرکت و همچنین نقش ترانستینرها به عنوان عامل محدودکننده عملیات اشاره نمود. لازم به ذکر است که استفاده از تجهیزات مورد نیاز در یک محوطه ذخیره به تعداد بهینه، تأثیر زیادی بر میزان هزینه‌های اولیه از جمله تأمین و راه‌اندازی تجهیزات و همچنین هزینه‌های بهره‌برداری دارد.

واژگان کلیدی: محوطه ذخیره کانتینری، شبیه‌سازی، جرثقیل محوطه، ترانستینر، کشنده، حمل و نقل کانتینری، زمان بیکاری، Enterprise Dynamics

۱. مقدمه

حمل و نقل دریایی به عنوان یکی از ارکان مهم صنعت حمل و نقل و به واسطه داشتن مزیت‌هایی همچون هزینه پایین و حجم انبوه حمل کالا، نقش اساسی را در توسعه تجارت خارجی کشورها ایفا می‌کند [1]. بندرها به عنوان بخش مهمی از حمل و نقل دریایی، یکی از حلقه‌های مهم زنجیره عرضه جهانی به شمار می‌روند. اداره‌کنندگان هر بندر سعی می‌کنند تا با ارائه خدمات باکیفیت به کشتی‌ها، آن‌ها را به استفاده هر چه بیشتر از بندر خود دعوت و سوددهی بالاتری را به دست آورند. بررسی مستمر کیفیت عملکرد بندرها و بهبود آن موجب افزایش توان رقابتی آن‌ها شده و همچنین نقش شایانی در روند توسعه کشورها ایفا می‌کند [2]. از سوی دیگر، حمل و نقل کانتینری کالا موجب شده تا محصولات، سریع‌تر، سالم‌تر و با هزینه پایین‌تری به مقصد برسند. کانتینرها با ویژگی‌های خاص خود، به سرعت و به طور وسیع در سیستم‌های حمل و نقل کشورهای مختلف مورد توجه و استفاده قرار گرفته‌اند [3]. به منظور برقراری ارتباط مؤثر برای اتصال حمل و نقل دریایی و حمل و نقل خشکی لازم است تا هر پایانه به اندازه کافی محوطه برای چیدمان و نگهداری کالاهای مختلف در اختیار داشته باشد، به طوری که تخلیه و بارگیری شناورها، تجهیزات و یا کامیون‌ها با تأخیر موجه نشود [4]. در این زمینه، تجهیزات استفاده شده در محوطه‌های کانتینری، مسیر جابه‌جایی کانتینر، تخصیص فضای مناسب ذخیره به کانتینرها و عملیات مربوط به باز چینش کانتینرها از جمله مواردی هستند که با توجه به شرایط جدید حمل و نقل

کالا، با تسریع در عملیات و کاهش هزینه‌ها، بر رضایت شرکت‌های کشتی‌رانی و ترانزیت داخلی و همچنین صاحبان بندرها و انبارها بسیار تأثیرگذار هستند. پس با در نظر گرفتن تمهیدات لازم در هر یک از موارد ذکر شده، می‌توان به عملکرد بهینه در زمینه حمل و نقل کانتینری و در نهایت کاهش زمان و هزینه و نهایتاً صرفه بیشتر اقتصادی در این زمینه دست یافت [5]. با توجه به در نظر گرفتن محوطه‌های ذخیره کانتینری به عنوان نقاط استراتژیک و کانون لجستیک این چرخه و همچنین پیچیده بودن شرایط ذخیره و انتقال کانتینر در آن، موضوع بهینه‌سازی چیدمان تجهیزات مورد استفاده در محوطه ذخیره کانتینری در این مقاله به عنوان مسئله اصلی مطرح شده است که تحقق آن با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی و شناسایی گلوگاه‌ها ممکن شده است [6]. منظور از فرآیند چینش، تعداد مورد نظر تجهیزات استفاده شده و چگونگی تخصیص تجهیزات به یکدیگر و همچنین نحوه تخصیص خدمات آن‌ها به بلوک‌های ذخیره کانتینر است [7]. تجهیزات اصلی مورد استفاده در محوطه‌های ذخیره به طور معمول شامل جرثقیل‌های محوطه یا آر تی جی ام، کشنده‌ها و تجهیزات هدایت هوشمند^۱ است. جرثقیل محوطه یک جرثقیل دروازه‌ای با چرخ‌های لاستیکی یا به اصطلاح ترانستینر، یک جرثقیل دروازه‌ای از نوع متحرک است که در عملیات چندوجهی به منظور انتقال و یا عملیات صفافی کانتینرها مورد استفاده قرار می‌گیرد. کانتینرهای ورودی به محوطه ذخیره کانتینری به وسیله این جرثقیل‌ها در بلوک‌های کانتینری ذخیره شده و تا برداشت

1. Rubber Tired Gantry Crane (RTGC)
2. Automated Guided Vehicle (AGV)

مجدد و قرار دادن آن‌ها روی کامیون‌ها به سمت مقصد مشخص در جای خود باقی می‌ماند. معمولاً مسیرهای خاصی به‌منظور تردد ترانستینرها در نظر گرفته می‌شود و برای هر دستگاه فقط یک مسیر خاص اختصاص داده می‌شود؛ همچنین از کامیون‌ها و کشنده‌ها به‌منظور دریافت و تحویل کانتینرها استفاده می‌شود [8].

در این راستا در بخش دوم مقاله به بررسی مطالعات انجام‌شده در زمینه فعالیت‌های صورت گرفته برای بهینه‌سازی عملکرد محوطه‌های ذخیره کانتینری بر اساس چهار حوزه اصلی در این زمینه پرداخته شده است. در ادامه و در بخش سوم به تشریح مسئله ازجمله محدوده مطالعه شده، وضعیت موجود محوطه مورد مطالعه، ابزار شبیه‌سازی استفاده شده، تجهیزات مورد استفاده در مدل شبیه‌سازی شده و همچنین مشخصات بلوک‌های کانتینری استفاده شده در مدل شبیه‌سازی شده پرداخته شده است. فصل چهارم به تحلیل نتایج شبیه‌سازی انجام‌شده بر اساس دو سناریوی تعریف‌شده یعنی مطالعه پارامتریک بهینه‌یابی تعداد ترانستینرها مورد استفاده در محوطه و مطالعه پارامتریک بهینه‌یابی تعداد کشنده‌های استفاده شده در محوطه در قالب جداول و نمودارها، اختصاص یافته است و در نهایت در فصل پنجم نتیجه‌گیری نهایی انجام شده و پیشنهادهایی برای مطالعات آینده ارائه شده است.

۲- مرور مطالعات انجام‌شده

در صنعت حمل‌ونقل دریایی مباحث مربوط به کاهش زمان فعالیت‌های مرتبط با جابه‌جایی و چینش کانتینرها از بدو ورود به بندر همواره حائز اهمیت است. در راستای رسیدن به این هدف (کاهش زمان) مباحث متنوع بهینه‌سازی در این حیطه مطرح‌شده‌اند که به‌طور کلی می‌توان آن‌ها را با توجه به مطالعات صورت گرفته، از نظر پارامترهای مورد مطالعه در بهینه‌سازی به چهار بخش اصلی به شرح زیر تقسیم نمود [9-11]:

۱. نوع تجهیزات جابه‌جایی کانتینر با توجه به هندسه.

۲. مکان اختصاص داده‌شده به هریک از کانتینرها.

۳. سیریابی تجهیزات جابه‌جایی برای انبار و یا بازیابی.

۴. بهینه‌سازی عملیات بازچینی کانتینرها.

هریک از چهار بخش گفته‌شده شامل قیدها و مؤلفه‌های خاص خود در عملیات شبیه‌سازی هستند که می‌توان آن‌ها را به دو دسته کلی تقسیم نمود:

مؤلفه‌های سرمایه‌گذاری اولیه شامل تعداد تجهیزات موردنظر، نوع تجهیزات، ملاحظات معماری و ژئوتکنیکی محوطه و موارد مربوط به ساخت و تجهیز محوطه ذخیره.

مؤلفه‌های بهره‌برداری شامل مسافت پیموده شده تجهیزات محوطه، زمان کارکرد و تعداد برداشت و گذاشت کانتینر توسط جرثقیل‌های دروازه‌ای و همچنین زمان مورد نیاز و کارکرد تجهیزات متناسب با عملیات بازچینش کانتینرها.

عبدالناصر و همکاران با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی شده از پایانه کانتینری بندر الدخیله^۲ واقع در کشور مصر موفق به بهینه‌سازی زمان استفاده از تجهیزات محوطه ذخیره و کاهش آن به میزان ۵۴٪ نسبت به زمان قبل از استفاده از مدل شبیه‌سازی شده برای بهره‌برداری از تعداد مشخصی از کانتینر شدند [12, 13]. قنبری و همکاران با استفاده از شبیه‌سازی به کمک نرم‌افزار اینترپرایز داینامیکس^۳ ۸/۱۳ موفق به بهینه‌سازی عملیات بهره‌برداری در محوطه مارشالینگ^۴ شدند که منجر به افزایش ۸٪ ظرفیت ورود و تخلیه سریعتر بار در این محوطه شد [14]. پارک و همکاران موفق شدند با شبیه‌سازی پایانه کانتینری بندر بوسانه واقع در کشور کره با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی آرنا^۵، ظرفیت ذخیره‌سازی سالانه محوطه ذخیره این پایانه را از تعداد ۴۸۵/۰۰۰ کانتینر به ۵۶۵/۰۰۰ کانتینر افزایش دهند [15]. بندر از میر^۶ واقع در کشور ترکیه که ابتدا عملکرد و بهره‌برداری آن به صورت سنتی انجام می‌گرفت و با انتخاب گزینه تخصیص مناسب فضا

1. Reshuffling
2. El-Dekheilla
3. Enterprise Dynamics (ED)
4. Marshalling Yard
5. Korean Busan CT
6. ARENA
7. IZMIR

(شکل ۱-الف) [19]. همچنین محوطه کانتینری موردنظر در پس‌کرانه بندر کانتینری شهید رجایی و در مختصات به طول جغرافیایی ۵۶/۰۵ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۷/۱۱ درجه شمالی واقع است (شکل ۱-ب).

شکل ۱. موقعیت محوطه ذخیره سینا در بندر شهید رجایی

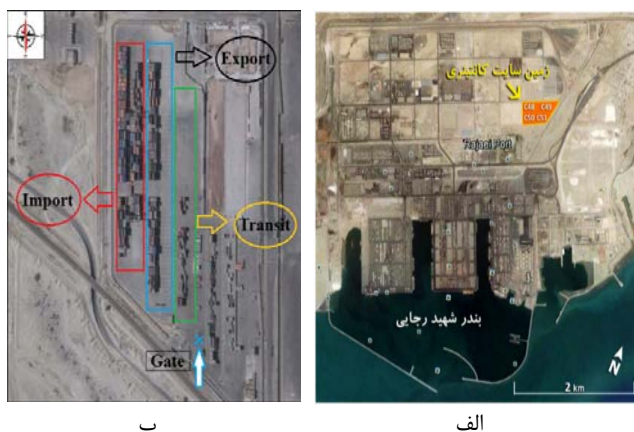


Fig.1. Location of Sinai storage yard in Shahid Rajaei port

۲-۳- وضعیت موجود

محوطه کانتینری موردنظر به‌منظور نگه‌داری طولانی‌مدت کانتینرها استفاده می‌شود و در حال حاضر دارای سه بخش اصلی کانتینری است که دارای ابعاد و ظرفیت‌های متفاوتی نسبت به یکدیگر هستند. برای هر بلوک تعداد یک ترانستینر به‌منظور ارائه خدمات جابه‌جایی کانتینر در آن در نظر گرفته شده است. این محوطه در افق طرح خود به‌طور متوسط به‌صورت سالانه ظرفیت ۱۵۰/۰۰۰ تی‌ای‌یو را به خود اختصاص داده است. از دیگر تجهیزات موجود در این محوطه می‌توان به ریچ استکر، ماشین‌آلات جابه‌جایی کانتینرهای خالی، کشنده و تریلیرها و لیفتراک اشاره نمود؛ لازم به ذکر است که تجهیزات اصلی دیده‌شده در این مطالعه نظر برای این محوطه ترانستینرها (تعداد ۶ عدد در مدل پایه) و کشنده‌ها (تعداد ۱۰ عدد در مدل پایه) هستند که این ترانستینرها مطابق با استاندارد چینش بلوک‌های کانتینری و با ظرفیت چینش چهار کانتینر روی یکدیگر و تا شش کانتینر در کنار یکدیگر تهیه شده و مورد

برای ذخیره کانتینرها به‌عنوان پارامتر اصلی در بهینه‌سازی، عملیات بهینه‌سازی و شبیه‌سازی آن انجام گرفت که به نتایجی ازجمله استفاده بهینه از فضای بلوک‌ها، انبار کردن کانتینرها و کاهش زمان انتقال و ذخیره گروهی کانتینرها به میزان قابل‌توجه در این بندر دست یافتند [15, 16]. بندر انتورپ واقع در کشور بلژیک که با انتخاب گزینه استفاده از تجهیزات مناسب به‌عنوان پارامتر اصلی در بهینه‌سازی، شبیه‌سازی شده و با استفاده از ترانستینر بجای استرادل کریرها، میزان ظرفیت ذخیره موجود در این بندر که در ابتدا ۱/۴ میلیون تی‌ای‌یو بود به ظرفیت ۳/۵ میلیون تی‌ای‌یو در سال افزایش یافت [17]. بندر الکساندریا واقع در کشور اسپانیا که با شبیه‌سازی مسیرهای مناسب انتقال کانتینر به‌منظور بهینه‌سازی، زمان ذخیره‌سازی کانتینرها در آن از ۱۱۳۵۳ دقیقه کارکرد تجهیزات در بازه زمانی یک هفته به زمان ۶۴۰۳ دقیقه در طول هفته کاهش داده شد [18]. با توجه به موارد چهارگانه بهینه‌سازی که در این بخش ذکر شدند و مطالعات انجام‌شده، مطالعه حاضر مربوط به بهینه‌سازی از دسته اول (بررسی عملکرد تجهیزات با توجه به هندسه محوطه به‌منظور بهینه‌سازی) است که تأثیر استفاده از تعداد مختلف تجهیزات را بر عملکرد دیگر تجهیزات محوطه و رابطه آن با زمان موردنیاز برای ذخیره کانتینرها در محوطه بررسی شده قرار می‌دهد؛ در این مقاله نیز مانند مطالعات بررسی‌شده، با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی و با لحاظ کردن شرایط مرزی محوطه به بهینه‌سازی زمان بهره‌برداری از محوطه با توجه به المان‌های تأثیرگذار در آن (که در این پژوهش چینش تجهیزات است) پرداخته شده است.

۳- روش انجام مطالعات

۳-۱- محدوده مورد مطالعه

به منظور بررسی موضوع موردنظر در این پژوهش از اطلاعات به دست آمده از محوطه کانتینری سینا واقع در قسمت پس‌کرانه پایانه کانتینری بندر شهید رجایی استفاده شده است

5. Reach Stacker
6. Empty Container Handlers
7. Tractor Trailer Unit

1. Antwerp
2. Straddle carrier
3. Twenty-foot equivalent unit (TEU)
4. Alexandria

- تمامی بلوک‌های کانتینری به صورت مستطیل شکل، با ابعاد و شرایط یکسان ایجاد شده‌اند.
- محوطه ذخیره به سه محدوده کانتینرهای وارداتی، صادراتی و ترانزیت تقسیم شده است که به ترتیب به هرکدام از این قسمت‌ها ۴/۴ و ۲ بلوک با ویژگی‌های یکسان اختصاص داده شده است.
- ارتفاع چینش بلوک‌ها، تعداد ۴ ردیف انتخاب شده است که یک ردیف از آن به منظور انجام عملیات بازچینی در نظر گرفته شده است؛ همچنین تعداد ۶ ستون برای هر بلوک در نظر گرفته شده است.
- مسیرهای حرکت کشنده‌ها به صورت دو بانده در نظر گرفته شده است و آثار تداخل و ترافیک کشنده‌ها در طول مسیر در نظر گرفته شده است.
- یک جرثقیل محوطه برای سرویس در هر دو بلوک کنار هم در نظر گرفته شده است و برای هر دو بلوک دو عدد کشنده در نظر گرفته شده است که یکی وظیفه ورود کانتینرها و دیگری وظیفه خروج را بر عهده خواهد داشت (در مدل پایه).

از فرض‌های ذکر شده در درجه اول به علت در دسترس نبودن اطلاعات میدانی از محوطه مورد نظر و در درجه دوم به منظور کاهش پیچیدگی‌های موجود در مدل‌سازی استفاده شده است که در صورت نیاز می‌توان تغییراتی در آن‌ها اعمال نمود. لازم به ذکر است که برخی تغییرات به هندسه استفاده شده در مدل و برخی به کدنویسی‌های انجام شده و برخی دیگر به تنظیمات موجود در نرم‌افزار برمی‌گردند.

۳-۴- تجهیزات مورد استفاده در مدل‌ها

از ترانستینرهایی مطابق با اطلاعات موجود در شکل (۲) و جدول (۲) بر اساس اطلاعات به دست آمده از شرکت‌های سازنده، به عنوان تجهیزات کلیدی محوطه، در مدل‌ها استفاده شده است [22].

شکل ۲. مشخصات ترانستینر استفاده شده در شبیه‌سازی بر اساس اطلاعات

شرکت سازنده [22]

بهره‌برداری قرار گرفته‌اند؛ همچنین اطلاعات مربوط به نوع بار ورودی محوطه در جدول (۱) قرار داده شده است؛ لازم به ذکر است که اطلاعات مذکور بر اساس برآوردهای صورت گرفته توسط شرکت مشاور طرح (شرکت مهندسين مشاور هندسه پارس) در جدول (۱) و مدل‌سازی لحاظ شده است.

Table.1. Container type specifications available at Sina's storage yard

جدول ۱. مشخصات نوع بار کانتینرهای موجود در محوطه ذخیره سینا

Types of containers	Description	Number of containers (TEU)	Percentage
Output	Import	60,000	40%
	Transit	12,000	8%
Input	Export	18,000	12%
	Transit	60,000	40%
Tranship	Tranship	-	0
Total		150,000	100%

همان‌گونه که در جدول (۱) نیز ملاحظه می‌شود، بار ورودی به محوطه ذخیره به سه دسته کانتینرهای وارداتی، صادراتی و ترانزیتی تقسیم می‌شود که متناسب با آن‌ها محوطه به سه بخش به صورت زیر تقسیم می‌شود:

۱. محدوده بلوک‌های استفاده شده با هدف ذخیره کانتینرهای وارداتی که شامل ۴ بلوک است.
۲. محدوده بلوک‌های استفاده شده با هدف ذخیره کانتینرهای صادراتی که شامل ۴ بلوک است.
۳. محدوده بلوک‌های استفاده شده با هدف ذخیره کانتینرهای ترانزیتی که شامل ۲ بلوک است.

۳-۳- ابزار شبیه‌سازی

همواره پارامترهای متعددی در رابطه با به کارگیری مناسب تجهیزات و چیدمان مناسب کانتینرها مطرح است که با یکدیگر در ارتباط هستند؛ به همین علت است که ابزارهای شبیه‌سازی در این زمینه می‌توانند نقش مناسبی را ایفا نمایند، به منظور بررسی تأثیر استفاده از تعداد مختلف تجهیزات و چگونگی تخصیص آن‌ها به بلوک‌های موجود در محوطه از ابزار شبیه‌سازی ایتپرپرایز داینامیکس منتشر شده توسط شرکت هلندی اینکترول^۱ استفاده شده است [20, 21]:

همچنین مسیر حرکتی کشنده‌ها در مدل‌های ساخته‌شده به همراه گره‌های موجود، نمای مدل پایه ساخته‌شده در محیط نرم‌افزار و مبانی عملکرد کلی محوطه ذخیره در مدل‌های ساخته‌شده به ترتیب در اشکال (۳ و ۴ و ۵) نشان داده‌شده‌اند؛ لازم به ذکر است که اطلاعات موجود در جدول (۳) و همچنین اشکال (۳ و ۴ و ۵) بر اساس موارد به دست‌آمده از بازدید میدانی محوطه موردنظر و همچنین اطلاعات افق طرح دریافت شده از مشاور پروژه است. مطابق با فلوچارت موجود در شکل (۵) بعد از ورود کانتینر از دروازه ورودی به محوطه توسط یک کامیون، با توجه به برنامه موجود، کانتینر موردنظر در یکی از سه دسته کانتینرهای وارداتی، صادراتی و ترانزیتی قرار گرفته و به محدوده موردنظر منتقل می‌شود (هریک از سه دسته ذکرشده محدوده خاص خود را در محوطه دارند). بعد از رسیدن کامیون به بلوک ذخیره موردنظر، یک ترانستینر کانتینر را از کامیون یا کشنده تحویل گرفته و در بلوک ذکرشده انبار می‌کند، بعد از گذر زمان لازم، (زمان خواب کانتینر) ترانستینر دوباره کانتینر را بارگیری کرده و تحویل کامیون یا کشنده داده تا از دروازه خروجی به سمت مقصد موردنظر انتقال پیدا کند.

در رابطه با شکل (۳) لازم به ذکر است که به‌طورمعمول در طراحی، شبکه حمل‌ونقل تجهیزات با توجه به پیش‌بینی‌های افق طرح، درنظرگرفته شده و اجرا می‌شوند که در طول پروژه همواره ثابت می‌ماند و امکان اعمال تغییر در آن‌ها به علت انجام فعالیت‌های عمرانی مانند زیرسازی و غیره دشوار است، پس شبکه مسیر درنظر گرفته‌شده در مدلسازی براساس افق طرح درنظر گرفته شده است که در تمام مدلسازی‌ها ثابت است؛ در ضمن با توجه به اینکه در مقاله موردنظر جانمایی بلوک‌های کانتینری ثابت است و به شکل ویژه چیدمان تجهیزات مطالعه شده است، شبکه حمل‌ونقل که تردد در آن صورت می‌پذیرد همواره ثابت باقی‌مانده است اما با توجه به تعداد تجهیزات استفاده شده در مدل‌های مختلف و محدوده تحت پوشش سرویس آن‌ها و ترافیک احتمالی، تجهیزات مسیر مناسبتر (به لحاظ وضعیت ترافیکی و فاصله) را به‌منظور تردد انتخاب خواهند نمود.

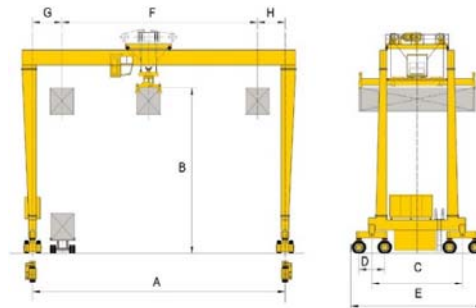


Fig. 2. Transtainer characteristics used in simulation based on manufacturer information [22]

جدول ۲ مشخصات ترانستینر مورد استفاده در شبیه‌سازی بر اساس اطلاعات

شرکت سازنده [22]

Characteristics of Transtainer	Value
Typical gantry span (A)	23.5 (m)
Lifting Heights (B)	12.5 (m)
Length over travel guards (E)	13.3 (m)
Trolley travel (F)	18 (m)
Average loading/unloading time	15 (s)

Table.2. Transtainer characteristics used in simulation based on manufacturer information [22]

- مشخصات بلوک‌های کانتینری

مشخصات بلوک‌های کانتینری استفاده شده در شبیه‌سازی، در جدول (۳) قرار داده شده است. محل برداشت و تحویل کانتینرها از قسمت ابتدایی بلوک‌ها است. لازم به ذکر است که استاندارد طراحی بلوک و اسلات‌ها و همچنین شبیه‌سازی، بر اساس کانتینرهای بیست فوتی است و به‌منظور تسهیل در شبیه‌سازی از آرایش چینش احتمالی کانتینرها در بلوک کانتینری استفاده شده است (با در نظر گرفتن عملیات بازچینی).

جدول ۳. مشخصات بلوک‌های کانتینری استفاده شده در فرآیند شبیه‌سازی

Block specifications	value
Number of bays	35
Number of rows	6
Number of tiers	3+1
Block length (m)	230
Block width (m)	20
Block height (m)	7.5

Table.3. Specification of container blocks used in simulation process

1. Slots

۳-۶- درستی آزمایشی مدل‌ها

مدل اولیه بر اساس وضعیت موجود محوطه ذخیره کانتینری سینا ساخته شده است (مدل پایه) و شرایط اولیه و شرایط مرزی استفاده شده در مدل مطابق با واقعیت است (اطلاعات بررسی شده در بخش ۳-۳ و ۳-۴). هدف از ساخت این مدل در مرحله اول مقایسه نتایج به دست آمده از فرآیند شبیه سازی، با شرایط واقعی محوطه ذخیره و درستی آزمایشی از مدل ساخته شده است. لازم به ذکر است که درستی آزمایشی انجام عملیات موردنظر توسط هر یک از المان‌ها با مقایسه نتایج به دست آمده از آن‌ها با مدل‌های مشخص موجود در نرم افزار، صورت گرفته است و کارکردهای نامناسب شناسایی و اصلاح شده‌اند؛ موارد اصلاح شده در این پژوهش شامل مواردی از جمله ایجاد هماهنگی میان کارکرد جرثقیل‌های محوطه، ایجاد هماهنگی کشنده‌ها و محوطه ذخیره، ایجاد هماهنگی میان کشنده‌ها و مسیرهای حرکتی از پیش تعیین شده به منظور حرکت آن‌ها و موارد مشابه بود؛ در نهایت مدل پایه ساخته شده براساس اطلاعات دریافت شده از محوطه ذخیره سینا درستی آزمایشی شد و مدل‌های بعدی نیز بر اساس همین مدل ساخته شده و درستی آزمایشی شدند، اطلاعات به دست آمده از محوطه موردنظر مربوط به انجام عملیات بهره‌برداری از تعداد ۳۲۰۰۰ کانتینر و مربوط به ۵ شناور متفاوت بودند که طی مدت یک ماه در شهریورماه سال ۱۳۹۷ در محوطه موردنظر تخلیه و یا بارگیری شدند

شکل ۶. محوطه ذخیره شبیه سازی شده در فضای نرم افزار

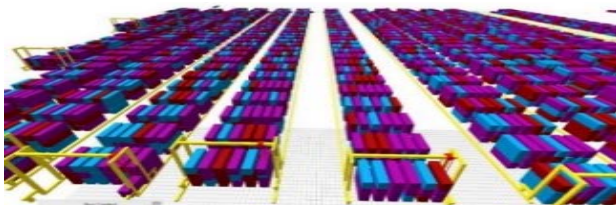


Fig. 6. Simulated storage yard in the software

برای نمونه تصویر بلوک‌های کانتینری استفاده شده در شبیه سازی در شکل (۶) نشان داده شده است که بعد از اصلاح مدل پایه و درستی آزمایشی آن تهیه شده است. لازم به توضیح

شکل ۳. مسیرهای حرکتی کشنده‌ها به همراه گره‌های ارتباطی در مدل‌های ساخته شده به صورت شماتیک

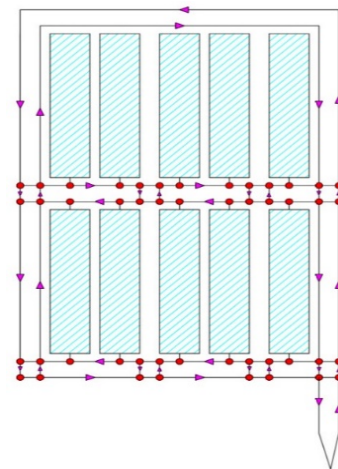


Fig. 3. Driving directions of AGVs with communication nodes in models, schematically

شکل ۴. نمای از مدل پایه ساخته شده در محیط نرم افزار شبیه سازی

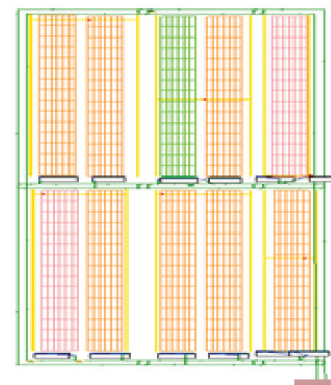


Fig. 4. View of the basic model built into the simulation software environment

شکل ۵. فلوچارت عملکرد محوطه ذخیره در مدل‌های ساخته شده

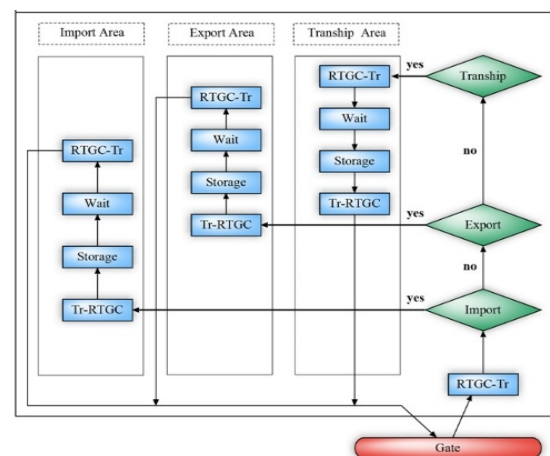


Fig. 5. Flowchart of storage yard operation in built models

است که عملیات وارم آپ ۱ در برآورد مدل‌ها لحاظ شده است، محوطه کانتینری از جمله مواردی است که در زمینه شبیه‌سازی مدل‌های مربوطه نیاز به وارم آپ دارد. علت این امر تفاوتی است که عملیات بازچینی (ری شافلینگ) در زمان بهره‌برداری از محوطه ایجاد می‌کند. در نظر نگرفتن وارم آپ، موجب حذف این زمان و ایجاد خطا در شبیه‌سازی می‌شود؛ پس آثار آن در مدل‌ها لحاظ شده است.

۴- نتایج شبیه‌سازی انجام‌شده

شبیه‌سازی انجام‌شده به صورت دو سناریوی مختلف به شرح زیر بررسی شده است:

۱. مطالعه پارامتریک بهینه یابی تعداد ترانستینرها.
۲. مطالعه پارامتریک بهینه یابی تعداد کشنده‌ها.

۴-۱- مطالعه پارامتریک بهینه یابی تعداد ترانستینرهای

در این بخش از مطالعات که شامل ۷ مدل مختلف است، عملکرد محوطه با در نظر گرفتن تعداد مختلفی از ترانستینرها و ثابت ماندن دیگر پارامترها و مقایسه نتایج به دست آمده با مدل پایه بررسی شده است؛ لازم به ذکر است که سعی شده است تا محدوده‌های کاری ترانستینرها طوری انتخاب شوند که تعادل توزیع بار توسط کشنده‌ها در میان محوطه‌های بلوک‌های وارداتی، صادراتی و ترانزیتی حفظ شود.

۴-۱-۱- تشریح مدل‌ها

در مدل‌های اول تا هفتم با تغییر تعداد ترانستینرها از ۶ عدد (در مدل پایه) به تعداد ۱۰ الی ۳ عدد، موارد به شرح زیر است:

- مدل اول (استفاده از ۳ ترانستینر): در این مدل برای هرچند بلوک مجاور هم یک ترانستینر به منظور ارائه خدمات اختصاص داده شده است که در شکل محدوده آن نشان داده شده است (سه محدوده تحت پوشش ترانستینرها عبارت‌اند از ۴ بلوک ناحیه واردات، ۴ بلوک ناحیه صادرات، ۲ بلوک ناحیه ترانزیت). در این مدل انتظار می‌رود تا زمان شبیه‌سازی میزان کمتری نسبت به حالت مدل پایه به دست آید. زمان ثبت شده برای این مدل توسط فرآیند شبیه‌سازی برابر با ۱۸۷۰۰ ساعت اندازه‌گیری شده است.

- مدل دوم (استفاده از ۴ ترانستینر): محدوده عملکرد هر ترانستینر در این مدل در شکل (۷) نشان داده شده است و پارامترهای دیگر شبیه‌سازی ثابت در نظر گرفته شده‌اند. زمان ثبت شده برای این مدل برابر با ۹۰۶۸ ساعت اندازه‌گیری شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود با اضافه کردن تنها یک دستگاه ترانستینر زمان کل بهره‌برداری از محوطه به نصف حالت قبل کاهش یافته است.

- مدل سوم (استفاده از ۵ ترانستینر): محوطه تحت سرویس ترانستینرها در این مدل در شکل (۷) نشان داده شده است و پارامترهای دیگر ثابت در نظر گرفته شده‌اند. زمان ثبت شده برای این مدل برابر با ۷۴۹۰ ساعت اندازه‌گیری شده است.

- مدل چهارم (استفاده از ۷ ترانستینر): محدوده عملکردی ترانستینرها در این مدل نیز در شکل نشان داده شده است و باقی پارامترهای شبیه‌سازی ثابت در نظر گرفته شده‌اند. زمان ثبت شده برای این مدل در فرآیند شبیه‌سازی برابر با ۵۸۴۰ ساعت اندازه‌گیری شده است.

- مدل پنجم (استفاده از ۸ ترانستینر): محدوده عملکرد هر ترانستینر در این مدل در شکل (۷) نشان داده شده است و پارامترهای دیگر شبیه‌سازی ثابت در نظر گرفته شده‌اند. زمان ثبت شده برای این مدل در فرآیند شبیه‌سازی برابر با ۴۷۵۱ ساعت اندازه‌گیری شده است.

- مدل ششم (استفاده از ۹ ترانستینر): زمان ثبت شده برای این مدل در فرآیند شبیه‌سازی برابر با ۴۵۲۰ ساعت اندازه‌گیری شده است؛ همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در این حالت با اضافه کردن یک ترانستینر نسبت به حالت قبل تأثیر اندکی در مدت زمان فرآیند بهره‌برداری از محوطه داشته است.

- مدل هفتم (استفاده از ۱۰ ترانستینر): در این مدل برای هر بلوک کانتینری یک ترانستینر اختصاص داده شده است که در شکل (۷) محدوده عملکرد آن‌ها نشان داده شده است. زمان بهره‌برداری کل ثبت شده در شبیه‌سازی این مدل برابر با ۳۹۲۰ ساعت ثبت شده است.

نتایج به دست آمده از شبیه سازی حاکی از کاهش زمان به صورت درجه سوم با توجه به افزایش تعداد ترانستینرهای موجود در محوطه است (استفاده از ۶ ترانستینر به جای ۳ ترانستینر موجب به کاهش ۶۰ درصدی زمان کل فرآیند خواهد بود). کاهش تعداد جرثقیل ها از ۱۰ عدد تا ۶ عدد کمتر خود را در تغییرات زمانی نشان داده است ولی در صورت کاهش به کمتر از ۶ عدد ترانستینر، تأثیرات چشمگیری بر نتایج ظاهر شده است.

جدول ۴. زمان بهره برداری برحسب تعداد جرثقیل محوطه

Model number	No. Yard cranes (Transtainers)	Storage time (Hour)
1	3	18,700
2	4	9,068
3	5	7,490
Basic model	6	6,663
4	7	5,840
5	8	4,751
6	9	4,520
7	10	3,920

Table 4. Yard cranes effect on Operation time in terms of number of yard crane

شکل ۸. تأثیر تعداد ترانستینر مورد استفاده بر زمان بهره برداری

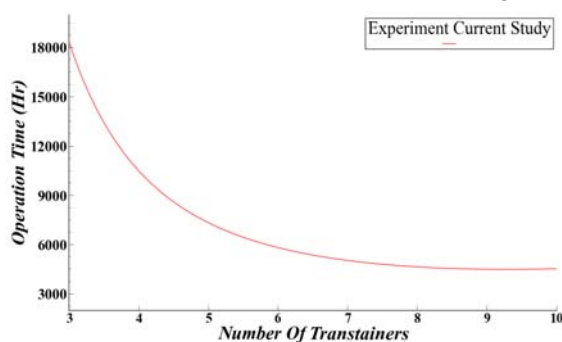


Fig. 8. Effect of number of transtainers on operation time

محور افقی موجود در نمودار شکل ۸ نمایانگر تعداد ترانستینر موجود در محوطه و محور عمودی نمایانگر زمان مورد نیاز برای انجام کل عملیات (برحسب ساعت) است؛ همچنین رابطه به دست آمده از برازش نمودار شکل (۸) به صورت اطلاعات موجود در جدول (۵) است.

شکل ۷. تخصیص محدوده کاری ترانستینرها در میان بلوک ها

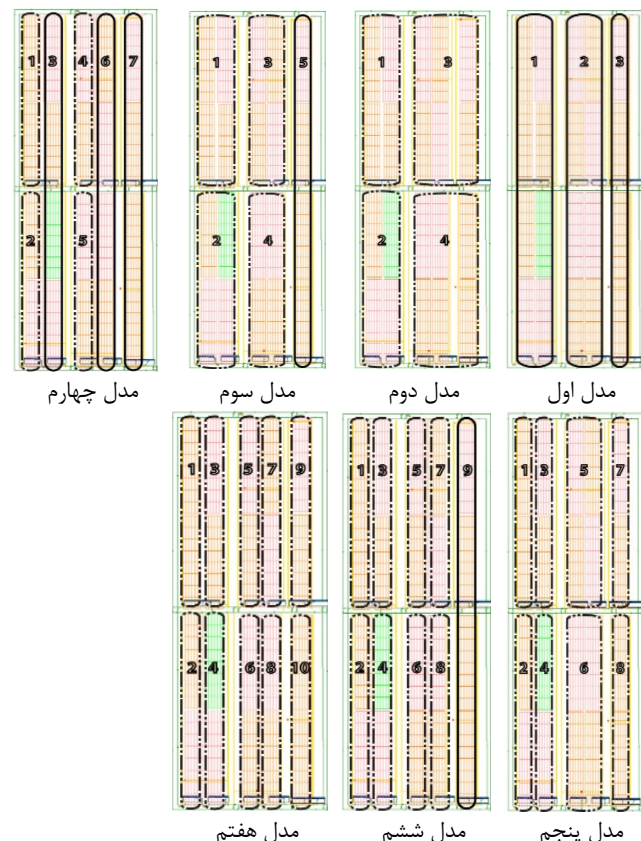


Fig. 7. Transtainers allocation framework between blocks in different models

۲-۱-۴ اثر تغییر چیدمان ترانستینرها

با توجه به هفت مدل ساخته شده و مقایسه نتایج بدست آمده با یکدیگر و مقایسه آنها با مدل پایه و همچنین برازش دادن منحنی متناسب با داده های بدست آمده با استفاده از نرم افزارهای کرو اکسپرت^۱ و اس پی اس اس^۲ مشخص شد که رابطه ای میان تعداد جرثقیل های استفاده شده در محوطه ذخیره و زمان مورد نیاز ذخیره سازی به صورت یک تابع از نوع چندجمله ای درجه سوم است (برازش داده شده با ضریب همبستگی^۳ ۹۵٪). نتایج به دست آمده با توجه به تعداد ترانستینرهای موجود در مدل و زمان مورد نیاز برای ذخیره سازی در جدول (۴) و شکل (۸) قرار داده شده و اطلاعات مربوط به برازش نمودار و معادله چند جمله ای بدست آمده نیز در جدول (۵) قرار داده شده است.

1. Curve Expert
2. SPSS (Statistical Package for the Social Sciences)
3. Correlation of Determination

انجام این فرآیند برابر با ۶۹۵۵ ساعت ثبت شده است شده است.

■ مدل سیزدهم: در این مدل از ۴ کشنده به جای ۱۰ عدد استفاده شده است. زمان موردنیاز در انجام این فرآیند برابر با ۷۲۶۸ ساعت اندازه‌گیری شده است.

شکل ۹. تخصیص محدوده کاری کشنده‌ها در میان بلوک‌ها در مدل‌های مختلف

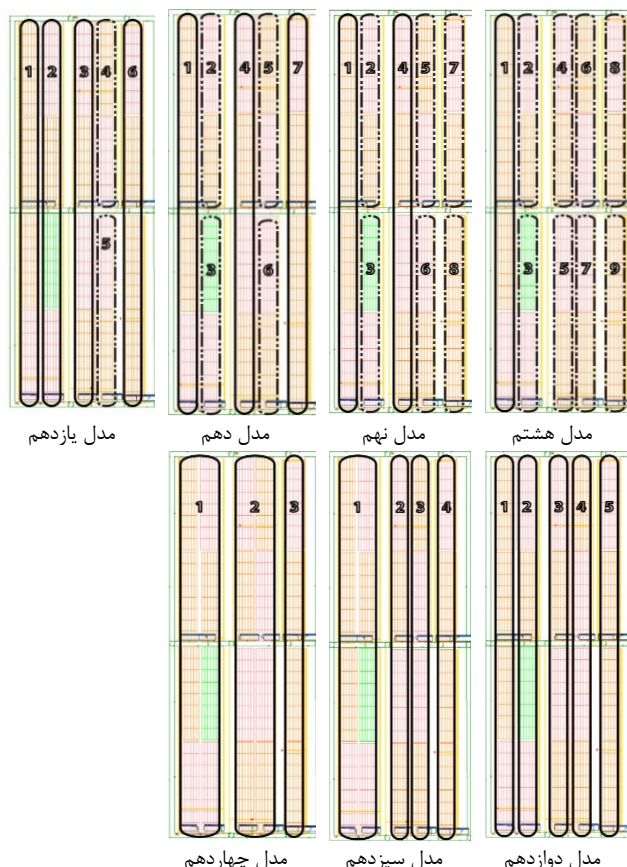


Fig. 9. AGVs allocation framework between blocks in different models

جدول ۶. زمان ذخیره‌سازی برحسب تعداد کشنده

Model number	No. AGVs	Handling time (Hour)
Basic model	10	6663
8	9	6877
9	8	6873
10	7	6945
11	6	6953
12	5	6955
13	4	7268
14	3	9095

Table 6. Storage time in terms of AGVs number in the yard

جدول ۵. اطلاعات مربوط به برازش نمودار شکل ۸

Property	Value
Name	Polynomial Regression, (degree = 3)
Kind	Regression
Equation	$y = a + b \times x + c \times x^2 + d \times x^3$
Coeff. Of Determination	0.95
Index a	66094
Index b	-24764
Index c	3341.8
Index d	-149.19

Table 5. Information about fitting Figure 8

۲-۴- مطالعه پارامتریک بهینه یابی تعداد کشنده‌ها

هدف از طرح این سناریو بررسی آثار تغییر تعداد کشنده‌ها بر عملکرد باقی کشنده‌ها و همچنین جرثقیل‌های محوطه و شناسایی نقاط بحرانی تجهیزاتی است. محدوده‌های کاری اختصاص داده شده به هر کشنده برای مدل‌های مختلف در شکل (۹) نشان داده شده است؛ همچنین نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی در جدول (۶) قرار داده شده است.

۱-۲-۴- تشریح مدل‌ها

■ مدل هشتم: در مدل‌های هشتم الی چهاردهم با استراتژی تغییر تعداد کشنده‌ها به تأثیر ایجاد شده در عملکرد دیگر کشنده‌ها و جرثقیل‌های محوطه و همچنین زمان موردنیاز برای فرآیند بهره‌برداری پرداخته شده است. در این مدل از ۹ کشنده به جای ۱۰ عدد (مدل پایه) استفاده شده است. زمان انجام این فرآیند برابر با ۶۸۷۷ ساعت اندازه‌گیری شده است (شکل ۹).

■ مدل نهم: در این مدل از ۸ کشنده به جای ۱۰ عدد استفاده شده است. زمان موردنیاز در انجام این فرآیند برابر با ۶۸۷۳ ساعت اندازه‌گیری شده است (شکل ۹).

■ مدل دهم: در این مدل نیز از ۷ کشنده به جای ۱۰ عدد استفاده شده است. زمان موردنیاز در انجام این فرآیند برابر با ۶۹۴۵ ساعت اندازه‌گیری شده است.

■ مدل یازدهم: در مدل یازدهم نیز از ۶ عدد کشنده استفاده شده است و زمان موردنیاز در انجام این فرآیند برابر با ۶۹۵۳ ساعت اندازه‌گیری شده است.

■ مدل دوازدهم: در این مدل از ۵ کشنده به جای ۱۰ عدد بکار رفته در مدل پایه استفاده شده است. زمان موردنیاز در

بیکاری جرثقیل‌های محوطه با توجه به تغییر تعداد کشنده‌ها به صورت خطی نبوده؛ همچنین مشخص شد هنگامی که تعداد کشنده‌ها از ۴ عدد بیشتر شود زمان بیکاری جرثقیل‌ها به صورت متوسط نصف خواهد شد و با افزایش تعداد کشنده‌ها به بیشتر از ۶ عدد تغییرات محسوسی رخ نخواهد داد (بر اساس رفتار منحنی برازش داده شده متناسب با داده های بدست آمده در شکل ۱۰)؛ پس استفاده از تعداد ۵ کشنده بر عملکرد جرثقیل‌های محوطه به لحاظ زمان بیکاری در محدوده بحرانی قرار دارد که این محدوده به صورت خط چین در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

■ مدل چهاردهم: در این مدل از ۳ کشنده به جای ۱۰ عدد استفاده شده است. زمان مورد نیاز در انجام این فرآیند برابر با ۹۰۹۵ ساعت اندازه گیری شده است (شکل ۹).

۲-۲-۴- اثر تغییر چیدمان کشنده‌ها

در این قسمت نتایج به دست آمده از شبیه سازی مدل های هشتم الی چهاردهم بررسی شده اند.

۱. آثار تغییر تعداد کشنده‌ها بر زمان بیکاری تجهیزات: مطابق با شبیه سازی ها، نتایج تغییر تعداد کشنده‌ها از ۱۰ عدد تا ۳ عدد بر زمان بیکاری باقی کشنده‌ها و جرثقیل‌های محوطه در ادامه بررسی شده است؛ همچنین نتایج حاصل از عملکرد کشنده‌ها بر مجموعه جرثقیل‌ها به صورت متوسط در جدول (۷) قرار دارند.

■ اثر تغییر تعداد کشنده‌ها بر زمان بیکاری جرثقیل‌های محوطه: مطابق با نتایج به دست آمده، مشخص گردید که تغییرات زمان

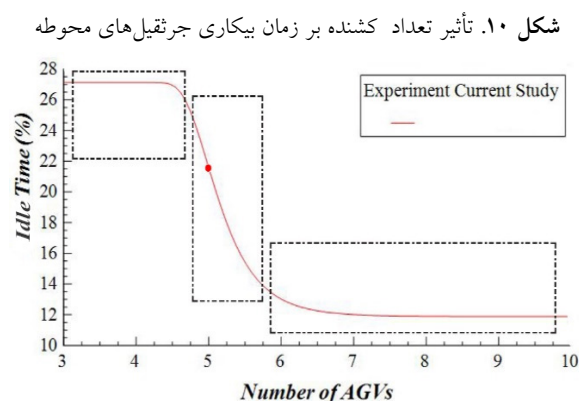


Fig. 10. Effect of number of AGVs on transtainers idle time

جدول ۷. تأثیر تعداد کشنده‌ها بر عملکرد جرثقیل‌های محوطه

row	Type of crane activity (Percent of total time)	No. AGVs							
		3	4	5	6	7	8	9	10 (Basic model)
1	Loading	6.89	7.96	8.6	8.98	9	9.09	8.09	9.35
2	Unloading	6.89	7.96	8.6	8.98	9	9.08	8.09	9.35
3	Move in full mode (with container)	25.1	29.03	31.4	32.8	32.8	33.11	29.49	34
4	Move in empty mode (without container)	31.95	26.38	26.15	35.65	35.74	35.9	24.58	35.5
5	Traffic	0.99	2.33	3.49	0.39	0.64	0	0.12	0
6	Idle	27.85	26.4	21.63	12.79	12.8	12.64	12.96	11.3

Table.7. AGVs effect on yard cranes performance

شکل ۱۲. تأثیرات تعداد کشنده بر زمان ذخیره سازی کل

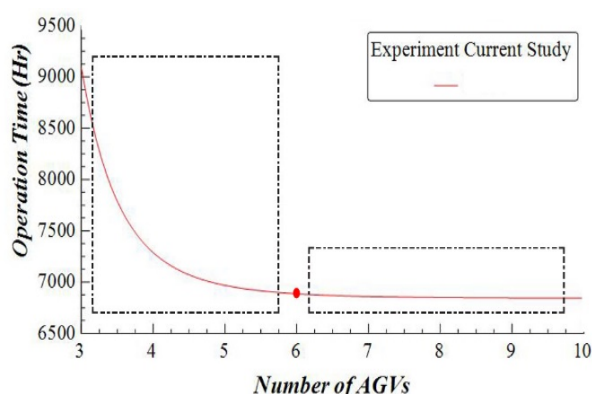


Fig. 12. Effects of number of AGVs on total storage time

محور افقی در نمودار نشان‌دهنده تعداد کشنده‌ها و محور عمودی نشان‌دهنده زمان کل بهره‌برداری از محوطه است.

مطابق با شکل (۱۲) استفاده از ۶ عدد کشنده به لحاظ تأثیر بر زمان کل بهره‌برداری در محدوده بحرانی قرار دارد. لازم به ذکر است مطالعات صورت گرفته برای زمان پیک کاری محوطه و کارکرد هم‌زمان تمام تجهیزات به‌صورت است. همچنین اطلاعات مربوط به برازش منحنی براساس داده‌های بدست آمده و معادله حاصل از این برازش در جدول (۹) قرار داده شده است.

■ اثر تغییر تعداد کشنده‌ها بر زمان بیکاری آنها: مطابق با نتایج به دست آمده، کاهش تعداد کشنده‌ها از ۱۰ عدد تا ۸ عدد تأثیرات چشمگیری بر عملکرد دیگر کشنده‌ها نداشته است (۷٪ کاهش زمان بیکاری). کاهش تعداد به میزان کمتر از ۷ عدد کشنده به یک‌باره موجب به ۱۵٪ کاهش زمان بیکاری در دیگر کشنده‌ها خواهد شد. استفاده از تعداد کمتر از ۵ عدد هم کاهش جزئی زمان بیکاری را در پی خواهد داشت (۵٪ دیگر کاهش). نتایج به‌دست‌آمده به صورت متوسط برای مجموعه کشنده‌ها در شکل (۱۱) و جدول (۸) قرار داده شده است. محور افقی در نمودار نشان‌دهنده تعداد کشنده‌ها و محور عمودی نشان‌دهنده درصد زمان بیکاری متوسط مجموعه کشنده‌های دیگر است.

■ آثار تغییر تعداد کشنده‌ها بر زمان کل: مطابق با نتایج حاصل از شبیه‌سازی، در صورت کاهش تعداد کشنده‌ها از ۱۰ عدد تا ۶ عدد تغییر خاصی در زمان بهره‌برداری کل اتفاق نمی‌افتد (افزایش ۳ درصدی)؛ این در حالی است که کاهش تعداد کشنده‌ها به کمتر از ۶ عدد موجب افزایش زمان خواهد شد (افزایش ۱۵ درصدی به ازای هر یک عدد کاهش کشنده)؛ همچنین در صورتی که تعداد کشنده‌ها از ۴ عدد کمتر شود تأثیر

شکل ۱۱. تأثیر تعداد کشنده بر زمان بیکاری باقی کشنده‌ها

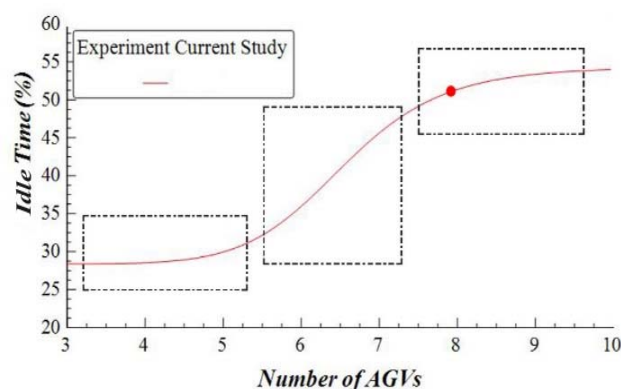


Fig. 11. Effect of number of AGVs on remaining AGVs idle time

چشمگیری بر افزایش زمان کل خواهد داشت (افزایش ناگهانی ۲۲٪). منحنی برازش داده‌شده از این نتایج (نتایج ارائه شده در جدول ۶) نیز در شکل (۱۲) قرار داده شده است

جدول ۸. نتایج تأثیر تعداد کشنده‌ها بر باقی کشنده‌ها

row	Type of AGVs activity (Percent of total time)	No. AGVs							
		3	4	5	6	7	8	9	10 (Basic model)
1	Loading	4.58	4.5	3.44	3	2.57	2.27	2	1.87
2	Unloading	4.58	4.5	3.44	3	2.57	2.27	2	1.87
3	Move in full mode (with container)	28.6	28.5	22.0	19.1	16.4	14.53	12	11
4	Move in empty mode (without container)	29.6	29.0	22.8	19.8	17	15.09	13	13.3
5	Traffic	0	10.1	24.2	19.2	16.4	14.24	12	21.1
6	Idle	31.9	23.2	31.9	35.8	44.9	51.6	55	51.6

Table 8. Effects of number of AGVs on remaining AGVs

جدول ۹. اطلاعات مربوط به برازش نمودار شکل ۱۲

Property	Value
Name	Polynomial Regression, (degree = 2)
Kind	Regression
Family	Power Law Family
Equation	$y = a + b \times x + c \times x^2$
Coeff. Of Determination	0.97
Index a	19269
Index b	-4780.2
Index c	456.25

Table 9. Information about fitting Figure 12

۵- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

نتایج به دست آمده حاکی از کاهش زمان بهره‌برداری با افزایش کشنده‌ها به صورت یک رابطه درجه دوم (بررسی شده در جدول ۹) تا تعداد مشخصی از کشنده (نقطه بحرانی) است. در صورتی که تعداد کشنده‌ها از این تعداد بیشتر شود تأثیری بر کاهش زمان نخواهند داشت که از دلایل آن می‌توان به ترافیک ایجاد شده در مسیر حرکت و همچنین نقش ترانسیتورها به عنوان محدودکننده عملیات اشاره نمود. در مورد تأثیر تعداد جرثقیل‌های محوطه بر زمان کل مورد نیاز در بهره‌برداری، با توجه به اینکه بیشتر فعالیت موجود در محوطه بر دوش این تجهیزات است از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و نتایج به دست آمده حاکی از کاهش زمان بهره‌برداری کل با افزایش تعداد جرثقیل‌های محوطه به صورت یک رابطه درجه سوم (بررسی شده در جدول ۵) است؛ همچنین با توجه به مفروضات و شرایط محوطه سینا و با توجه به نتایج به دست آمده، برای بهینه نمودن تعداد تجهیزات مورد استفاده در محوطه دو پیشنهاد زیر مطرح شده است: ۱- بهبود وضعیت تردد کشنده‌ها و کاهش تعداد آن‌ها از ۱۰ عدد در وضعیت موجود به ۵ عدد و استفاده از ۶ عدد ترانسیتور. ۲- استفاده از ۱۰ عدد کشنده (به جای تعداد بهینه ۵ عدد به دست آمده از شبیه‌سازی) و ۵ عدد ترانسیتور (به جای ۶ عدد در وضعیت موجود) این در حالی است که اضافه نمودن ۵ عدد کشنده قادر به جبران زمان اضافه شده به فرآیند بهره‌برداری ناشی از کاهش ۱ عدد ترانسیتور خواهد بود؛ همچنین نتایج دیگر به دست آمده گویای کاهش زمان

با توجه به نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی انجام شده و تعداد تجهیزات استفاده شده در محوطه و همچنین با توجه به هندسه چینش محوطه نتایج زیر حاصل شده‌اند: در رابطه با تعداد تجهیزات استفاده شده در محوطه شامل کشنده‌ها و ترانسیتورها و زمان بیکاری تجهیزات موجود مشخص شد که همواره یک محدوده به عنوان محدوده بحرانی وجود خواهد داشت که در صورت استفاده از تعداد تجهیزات موجود در آن محدوده، نمودار زمان بیکاری برحسب تعداد تجهیزات دچار شکستگی شده و به صورت قابل توجهی دچار تغییر خواهد شد و در صورت استفاده از تعداد خارج از آن محدوده تأثیر کمتری مشاهده خواهد شد؛ این محدوده در نمودارهای تأثیر تعداد کشنده بر زمان بیکاری دیگر کشنده‌ها و زمان بیکاری ترانسیتورها به صورت نمودارهای موجود در اشکال (۱۱ و ۱۰) بررسی شد. در رابطه با تأثیر تعداد کشنده‌های استفاده شده بر زمان کل مورد نیاز در بهره‌برداری،

جزئیات بار ورودی به محوطه استفاده شده است که با توجه به اطلاعات تجربی موجود، استفاده از این توزیع کمترین خطا را نسبت به حالت واقعی در مدل ها ایجاد می کند.

همچنین در ادامه پژوهش، ارزیابی های تحلیلی و تجربی به منظور بهینه سازی فعالیت های مرتبط با بهره برداری از محوطه های ذخیره کانتینری با استفاده از تکنیک بهینه سازی مبتنی بر شبیه سازی (که ترکیبی از تکنیک بهینه سازی و مدل سازی شبیه سازی رویداد گسسته است) انجام خواهد شد.

۶- مراجع

- [1] Robinson S., Nance R. & Paul R. 2016 Simulation model reuse: definitions, benefits and obstacles. *Simulation modelling practice and theory*, 12(7), 479-494.
- [2] Sun Z., Hay L., Peng E. & Tan K.C. 2012 MicroPort: A general simulation platform for seaport container terminals, *Advanced Engineering Informatics*, vol. 26, 89-80.
- [3] Kozan E. & Preston P. 2016 Mathematical modelling of container transfers and storage locations at seaport terminals *OR Spectrum*, vol. 28, no.4, 519-537.
- [4] Sacone S. & Siri S. 2013 An integrated simulation-optimization framework for the operational planning of seaport container terminals, *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, vol.15, no. 3, 275-293.
- [5] Javanshir H. & Ganji S.r. 2015 Yard crane scheduling in port container terminals using genetic algorithm, *Journal of Industrial and Systems Engineering*, vol. 6, no. 11, 39-50.
- [6] Carten A. & Luca S. 2012 Tactical and strategic planning for a container terminal: Modelling issues within a discrete event simulation approach, *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 21, 123-145.
- [7] Zeng Q. & Yang Z. 2012 Integrating simulation and optimization to schedule loading operations in container terminals, *Computers and Operations Research*, vol. 36, 1935-1944.
- [8] Kim K. H., Park Y. M. & Jin M. J. 2013 An optimal layout of container yards, *OR Spectrum*, vol. 30, 675-695.

بیکاری مجموع کشنده ها به میزان متوسط ۱۵٪ و از طرف دیگر بهبود عملکرد ترانستینرها به لحاظ زمان مفید کاری به میزان متوسط ۱۲٪ در صورت تخصیص مناسب این تجهیزات به یکدیگر (برهمکنش و انتقال وظایف به یکدیگر) و همچنین تخصیص سرویس دهی مناسب آن ها به بلوک ها است. لازم به ذکر است که این کاهش زمان به صورت مستقیم و غیرمستقیم منجر به کاهش قابل توجه هزینه های بندر در طولانی مدت خواهد شد که می تواند در آینده مورد توجه طراحان و بهره برداران پایانه های کانتینری قرار گیرد.

در رابطه با مفروضات بکار رفته در شبیه سازی نکات زیر لازم به ذکر است:

- ۱- مسیرهای حرکتی تجهیزات محوطه به صورت کوتاه ترین مسیر ممکن میان مبدأ و مقصد انتخاب می شود. استفاده از این فرض ممکن است که در قسمت هایی از شبکه حمل و نقل موجب ایجاد ترافیک شود. به عنوان تکمیل شبیه سازی انجام شده در یک پروژه مجزا می توان با ترکیب پارامترهای کوتاه ترین مسافت طی شده و ترافیک ایجاد شده، سیستم حمل و نقل مدل های مورد نظر را بهینه نمود که موجب کاهش زمان بهره برداری خواهد شود.
- ۲- دینامیک تجهیزات استفاده شده در شبیه سازی (مانند سرعت و شتاب حرکتی و غیره) بر اساس اطلاعات موجود در محدوده استاندارد و به صورت توزیع احتمالی نرمال در نظر گرفته شده است که ممکن است نسبت به حالت واقعی همراه با خطا باشد که برای رفع آن باید از اطلاعات حاصل از بازدید میدانی استفاده نمود.
- ۳- به منظور ساده سازی در مدل سازی از کانتینرهایی با وزن و ابعاد یکسان استفاده شده است. در حالت واقعی با توجه به تفاوت وزن و ابعاد کانتینرها، دینامیک تجهیزات محوطه مانند سرعت و شتاب حرکتی آن ها دچار تغییر شده که بر زمان بهره برداری از محوطه تأثیر می گذارد.
- ۴- با توجه به نبود اطلاعات کافی از زمان بندی کانتینرهای ورودی به محوطه از توزیع احتمالی برنولی به منظور ایجاد

- [15] Park K. & Zrnica N. 2017 Simulation Approach of Container Terminal Modelling. The 7th Vienna International Conference on Mathematical Modelling (MATHMOD), Vienna University of Technology, Vienna, Austria.
- [16] Yildirim M. S. & Gokkus U. 2018 Determination of the Storage of the Area Requirements for İzmir Container Port by Implementing the Neural Networks. International Journal of u-and e-Service, Science and Technology. 8, 175-184.
- [17] Carlo H. J., Vis I. F. A. & Roodbergen K. J. 2017 Storage yard operations in container terminals: Literature overview, trends, and research directions. European Journal of Operational Research. 235(2), 412-430.
- [18] Vacca L., Bierlaire M. & Salani M. 2017 Optimization at Container Terminals: Status, Trends and Perspectives, 7th Swiss Transport Research Conference.
- [19] Ministry of Roads & Urban Development Ports & Maritime Organization: shahidrajaeeport.pmo.ir, 2017.
- [20] Incontrol Simulation Software: incontrolsim.com, 2017.
- [21] incontrol software products inc: incontrolsim.com, 2017.
- [22] Liebherr Container Cranes Ltd: liebherr.com, 2017.
- [9] Carlo H. J., Vis I. F. & Roodbergen K. J. 2014 Storage yard operations in container terminals: Literature overview, trends, and research directions. European Journal of Operational Research, 2014. 235(2): p. 412-430.
- [10] Vacca L., Bierlaire M. & Salani M. 2017 Optimization at Container Terminals: Status, Trends and Perspectives, 7th Swiss Transport Research Conference.
- [11] Luo J., Wu Y., Halldorsson A. & Song X. 2018 Storage and stacking logistics problems in container terminals, OR Insight, vol.24, 256-275.
- [12] Abd El-Nasser G., Abeer M. & El-Sayed M. 2017 Simulation and optimization of container terminal operations: a case study, International Journal of Computer Science Engineering and Information Technology Research (IJCSEITR), vol. 4, no. 4, 85-94.
- [13] Vacca L., Bierlaire M. & Salani M. 2012 Optimization at container terminals: status, trends and perspectives. in Swiss Transport Research Conference.
- [14] Ganbari M. R. & Azimi P. 2016 Performance Improvement through a Marshaling Yard Storage Area in a Container Port Using Optimization via Simulation Technique: A Case Study at Shahid Rajaee Container Port. Journal of Optimization in Industrial Engineering 20, 31-40.

Effect of the Number and Arrangement of Equipment on Operation of a Container Yard Using Enterprise Dynamics Software

Mohammad Yousef Moghadam¹, Rouzbeh Panahi^{2*}, Babak Farhang Moghadam³

1- Department of Marine engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2- Department of Marine engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

3- Department of Industrial engineering, Institute for Management and Planning Studies (IMPS), Tehran, Iran.

* rpanahi@modares.ac.ir

Abstract

The Rapid growth of containers in number and need to store them in a compact port space, makes container terminal concept more important than before. This fact will cause new research challenges in designing, planning and optimum operation of entire parts of a container terminal by considering the number of affecting factors and interactions between them. Therefore container storage yard, which is not only used in sea ports, but also in dry ports and other types of ports, becomes significantly important every day. The main purpose of this research is to study the interaction between use of different types of equipment and the function of container storage yard. Accordingly, this paper has analyzed the optimum number of equipment and proper equipment arrangement with discrete event simulation of all activities related to operation in the storage area. Results of this research are derived from models based on changes in the number of yard cranes (Transtainers or RTGMs) and Automated Guided Vehicles (AGVs) in the range of their permissible performance from the least to the most number in the condition of keeping other parameters fixed Which relates to simulation of Sina container storage yard, located at Shahid Rajaei port (Bandar Abbas, Iran) using the Enterprise dynamics software. Thus, it is possible to identify the appropriate arrangement by consideration of two important control factors in the project, namely time and cost for the mentioned yard. Using simulation tool in this case study shows that using a suitable strategy for transferring tasks between equipment and also proper assign them to blocks will leads to improvements include reducing the average idle time of AGVs by 15% and reducing their number from 10 to 5, at the other hand improving the performance of transtainers by 12% in efficiency of working and reducing their number from 6 to 5. Also the results of simulated different models indicate that there is a quadratic relation between reducing the operation time and increasing the number of AGVs, up to a certain number of devices (Critical point). If number of AGVs exceeds a certain number, they will have no effect on reduction of time that the main reason is traffic caused by equipment and role of transtainers as operation limiters. It should be noted that using the optimum number of equipment that used in a storage yard has a great effects on the amount of initial costs including supply and installation of different equipment, and also in operating costs and maintenance. On the other hand the topic discussed in this paper is one of the topics that has been particularly important in recent years not only in the field of transport and logistics, but also in the fields of environment and sustainable development. It is also expected that the presentation of this paper will lead to improvements in arrangement of storage yards to suit different needs. In today's world, it is important to pay attention to the issues of saving fuel and energy and most importantly optimizing the timing of activities.

Keywords: Container Storage Yard, Simulation, Yard Crane, Transtainer, AGV, Idle Time, Enterprise Dynamics.