



## ارزیابی استراتژی های سیستم حمل و نقل داخلی در یک بندر کانتینری چند وجهی به کمک مدل شبیه سازی

محمد رضا قنبری<sup>1</sup>

### چکیده

در دو دهه ی اخیر سیستم های حمل و نقل کانتینری با رشد فزاینده ای رو به رو بوده اند. این حقیقت اهمیت حمل و نقل کانتینری را به عنوان یک نقش اساسی از ترمینال های کانتینری برای ارتباط میان دریا و خشکی روشن می کند. بنابراین همواره یک نیاز اساسی برای استفاده بهینه از تجهیزات و امکانات در بنادر وجود دارد. با توجه به ساختار پیچیده ی بنادر کانتینری، این مقاله یک مدل شبیه سازی را به منظور مقایسه ی دو استراتژی حمل و نقل و انبارش کانتینرها در یک ترمینال کانتینری ارائه می کند. برای این منظور از نرم تخلیه و بارگیری به عنوان یک معیار مهم برای ارزیابی عملکرد بندر کانتینری شهید رجایی بهره گرفته ایم. با تحلیل نتایج نشان داده خواهد شد که استفاده از استراتژی مارشالینگ یارد به جای استفاده از سیستم کنونی انبارش برای ذخیره سازی کانتینرها یک اثر معنادار بر روی معیار عملکرد بندر خواهد داشت و می تواند نرم تخلیه و بارگیری را به میزان 14 درصد افزایش دهد.

کلمات کلیدی: شبیه سازی، بندر کانتینری، مارشالینگ یارد، استراتژی انبارش

### مقدمه

رشد فزاینده حمل و نقل کانتینری دریایی و روند رو به رشد استفاده از کانتینر در سیستم های حمل و نقل چند وجهی میان دریا، ریل، جاده در بازار تجارت جهانی، مدیران ارشد ترمینال های کانتینری را با چالش هایی در خصوص افزایش تقاضا، شرایط رقابتی، سرمایه گذاری های جدید، گسترش فعالیت های به روز و نیاز به استفاده از روش های جدید برای انجام عملیات اثر بخش چه در خشکی و چه در اسکله، به وجود آورده است. این افزایش استفاده از کانتینر به 7 تا 9 درصد در سال رسیده (1) و پیش بینی می شود این افزایش نرخ برابر با 10 درصد تا سال 2020 داشته باشد (2) جایی که این رشد برای سایر حمل و نقل های دریایی تنها 2 درصد پیش بینی شده است.

بندر کانتینری شهید رجایی به عنوان بزرگترین بندر کانتینری ایران، در جنوب کشور و در دهانه تنگه هرمز قرار دارد که بایش از 80 بندر معروف دنیا دارای ارتباط تجاری است. ترمینال های 1 و 2 این بندر با ظرفیت نگهداری بیش از 168000 TEU، قادرند تا سالانه 3100000 TEU عملیات کانتینری انجام دهند. عملکرد بندر کانتینری شهید رجایی نشان دهنده ی رشد این بندر در سال های اخیر است به طوری که در ارتقاء رتبه آن در گزارشات جهانی تاثیر

<sup>1</sup> Ghanbari\_mrg@yahoo.com دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، باشگاه پژوهشگران جوان، قزوین، ایران

قابل تاملی گذاشته است. مطابق آمار های نشریات معتبر جهانی، بندر کانتینری شهید رجایی با TEU 2590000 عملیات کانتینری در سال 2010 در رتبه 44 دنیا قرار دارد (3).

مرور تحقیقات گذشته نشان می دهد که بیشتر آن ها از تئوری صف به عنوان یک ابزار برای تخمین عملکرد بنادر کانتینری استفاده کرده اند، همانند کوزان(4). اما بیشتر آن ها از فرض های ساده سازی برای مدل سازی دنیای واقعی استفاده کرده اند (5). برای مثال اکثر مطالعات تنها از یک صف واحد برای مدل سازی عملیات داخلی استفاده کردند در حالی که در یک بندر واقعی تعداد زیادی از شبکه های صف وجود دارد که پیچیدگی مسائل بندری را افزایش داده و از توان روش هایی حل تئوری شبیه تئوری صف برای حل مسائل می کاهد. ون یون یان(6) نتیجه گرفت که روش شبیه سازی یک گزینه اثربخش برای تحلیل سیستم های موجود در بنادر کانتینری است. در کنار اهمیت روش های حل مسائل بندری، طبقه بندی مسائل تنوع زیادی در انجام مطالعات گذشته ایجاد کرده است. مطابق طبقه بندی ارائه شده در (7)، مطالعه حاضر یک مسئله استراتژی از نوع برنامه ریزی و مرتبط با زیر سیستم حمل و نقل و انبارش در یک بندر کانتینری است. مدیریت عملیات محوطه انبارش شامل مسائل تصمیم گیری مختلفی است: طراحی سیاست های انبارش کانتینرها در بلوک ها مطابق مشخصات کانتینرها (سایز، وزن، مقصد، وارداتی بودن، صادراتی بودن و ...)، مسئله تخصیص، مسیرهای حرکتی و برنامه ریزی جرثقیل ها، طراحی فضاهای نگهداری موقت برای کانتینرهای صادراتی(1). چونگ و همکاران (8) یک متدولوژی بر پایه ی سیستم شبیه سازی گرافیکی برای شبیه سازی فضای نگه داری موقت در کنار اسکله ارائه کردند. هدف این متدولوژی افزایش استفاده از ظرفیت تجهیزات حمل و نقل و کاهش زمان بارگذاری کانتینرهاست (9). ویس و همکارانش استفاده از فضای محوطه انبارش را برای انتقال مجزا در اسکله و خشکی ارائه کردند به طوری که فرآیند می تواند به صورت دو زیر فرآیند جدا شود: تخلیه و انتقال. یک برنامه ریزی عدد صحیح تعداد کمینه ناوگان حمل و نقل را تعیین می کند. همچنین در این تحقیق نتایج تجربی به وسیله شبیه سازی صحنه گذاری شدند. لی و همکارانش (11) مسئله تخصیص فضای انبار را در یک بندر واسط با هدف کاهش ترافیک در بندر مورد بررسی قرار دادند. لی و هسو (12) یک مدل برای مساله مرتب سازی مجدد کانتینرها به منظور بهره برداری مناسب از فضای محوطه بندر کانتینری و سرعت بخشیدن به عملیات بارگذاری ارائه و مساله را با یک الگوریتم هیورستیک حل کردند.

با توجه به مرور مختصر مطالعات در خصوص بهینه سازی مسائل بنادر کانتینری، می توان گفت کمتر مطلبی یافت می شود که نتایج ارائه شده ی خود را با داده های حاصل از مساله واقعی مورد مقایسه قرار داده باشد و در واقع مساله را معتبر سازی کرده باشد. در این مقاله سعی کرده ایم یک مدل عمومی برای تمامی زیر سیستم های موجود در بندر کانتینری شهید رجایی به منظور ایجاد درجه ی مناسبی از یکپارچگی میان زنجیره تامین در بندر به منظور سنجش عملکرد آن ارائه کنیم. استفاده از نرم افزار شبیه سازی ED<sup>2</sup> و بهره گیری از محیط گرافیکی و سه بعدی آن در کنار امکانات انیمیشن سازی باعث شد تا درجه ی مورد قبولی از صحت مدل ساخته شده کسب شود. در مدل ارائه شده سه زیر سیستم کشتی به اسکله، انتقال از اسکله به محوطه انبارش و بالعکس و زیر سیستم انبارش وجود دارند که درجه ی قابل قبولی از یکپارچگی میان اجزای حمل و نقل کانتینر درون یک ترمینال کانتینری را فراهم می کند. نکته قابل تامل دیگر در مطالعه حاضر در نظر گرفتن جزئیات مشخصه های فنی تجهیزات حمل و نقل و در نظر گیری حالات تصادفی در شاخص های خرابی و تعمیرات آن هاست که تا کنون در مطالعات قبلی دیده نشده است.

هدف از ارائه این مقاله ایجاد یک مدل از بندر کانتینری شهید رجایی به منظور ارزیابی عملکرد بندر در دو استراتژی مختلف و مقایسه ی آنهاست. استراتژی اول سیستم انبارش حال حاضر می باشد و استراتژی دوم مدل پیشنهادی ما است که کانتینرها را پس از تخلیه به صورت موقت در فضایی نزدیک به اسکله به نام مارشالینگ یارد نگه داری می کند. برای این منظور ما از معیار نرم تخلیه و بار گیری به عنوان یک شاخص مهم در بندر استفاده کرده ایم. در قسمت دوم شرح مختصری از مساله مورد بحث ارائه می شود. در قسمت سوم فرآیند مدل سازی تشریح می شود. در قسمت چهارم خروجی شبیه سازی برای مقایسه دو استراتژی به کار گرفته می شود و در نهایت در قسمت پنجم نتایج کارگزارش می شود.

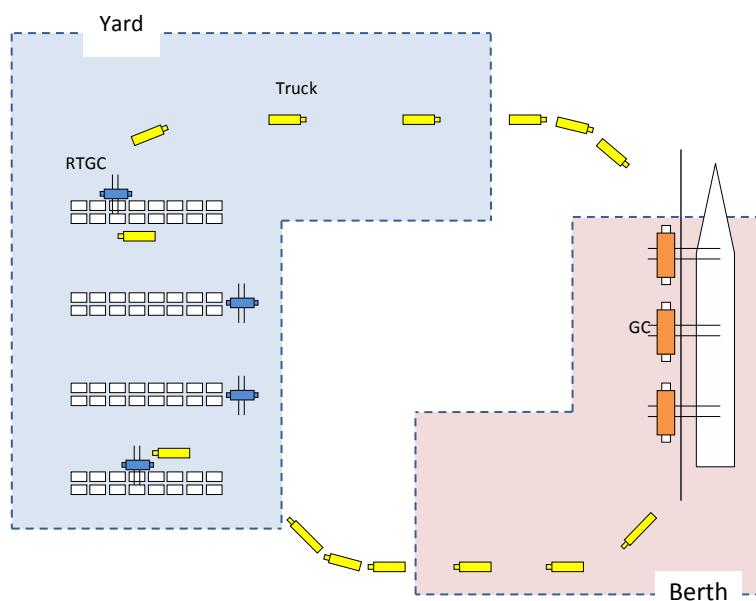
یک ترمینال کانتینری<sup>۳</sup> محلی است که کشتی ها می توانند در کنار اسکله های آنها پهلو دهی و بوسیله ی گنتری کرین ها خدمت داده شوند. این خدمت دهی شامل تخلیه کانتینر از روی کشتی و یا بارگذاری کانتینر بر روی کشتی می باشد. همچنین ترمینال های کانتینری می توانند به عنوان یک محوطه ی انبارش موقت تلقی شوند به طوری که کانتینرها می توانند از لحظه تخلیه شدن از روی کشتی تا لحظه تحویل به مشتری در آن باقی بمانند. بنابراین کانتینرهای تخلیه شده بوسیله ی گنتری کرین ها می بایست به فضای مناسبی در محوطه انبارش منتقل شوند. برای انجام این کار، پس از تخلیه کانتینرها از روی کشتی بر روی کامیون هایی بار گذاری می شوند تا کامیون ها آن ها را به محوطه انبارش منتقل کنند. با در نظر گیری این نکته که کانتینر تخلیه شده وارداتی، یخچالی، ترانشیپ یا خالی است می بایست به بلوک در نظر گرفته شده در محوطه منتقل شود. به محض اینکه کامیون ها به محوطه انبارش می رسند تجهیزات دیگری به نام جرثقیل های چرخ دار شروع به تخلیه کانتینرها از روی کامیون ها کرده و آن ها را در محل های مخصوص در بلوک ها جایگذاری می کنند. همانطور که قبلاً نیز ذکر شد یک کانتینر می تواند از یک ساعت تا چندین روز در محوطه انبارش نگه داشته شود و پس از آن از محوطه انبارش به منظور تحویل به مشتری و یا بار گیری بر روی کشتی خارج می شود. کانتینرهای ترانشیپی آنهايي هستند که از روی کشتی های بزرگتر در بندر تخلیه شده تا برای بار گذاری مجدد روی کشتی هایی که قصد دارند به بنادر داخل کشور یا فواصل نزدیک منتقل شوند، آماده شوند. این کانتینرها به صورت موقت در بندر خواهند ماند. بنابراین کانتینرهای ترانشیپ و کانتینرهای صادراتی، کانتینرهایی هستند که توسط ترمینال بر روی کشتی ها بار گذاری می شوند.

نرم تخلیه و بارگیری یکی از یکی از مهمترین معیار های عملکرد بنادر کانتینری می باشد. این شاخص نرخ تخلیه و بارگیری کانتینرها در هر ساعت برای هر کشتی است. قبل از تخلیه هر کشتی در اسکله، نرم تخلیه و بارگیری برای هر کشتی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\text{نرم تخلیه و بارگیری (جابجایی در ساعت)} = \frac{\text{طول کشتی} * 6.5}{23}$$

این معادله ارتباطی بین طول کشتی و دو عدد ثابت می باشد. مقدار بدست آمده از این رابطه نشان دهنده ی تعداد استاندارد تخلیه و بارگیری در هر ساعت برای یک کشتی مشخص است. کاهش مقدار این شاخص برای مدیران بنادر کانتینری هزینه هایی را در بر خواهد داشت، بنابراین افزایش این شاخص به بیشترین مقدار ممکنه از اولین اهداف مطالعات بنادر کانتینری است. در این خصوص انتخاب استراتژی مناسب برای ذخیره سازی کانتینرها در محوطه انبارش و استفاده بهینه از تجهیزات می تواند سهم عمده ای را در افزایش این شاخص داشته باشد.

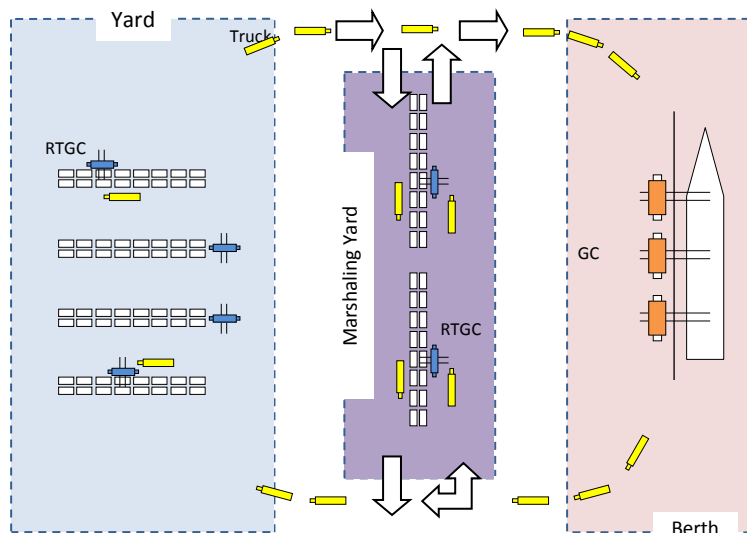
مساله از آنجا آغاز می شود که یک کشتی وارد بندر شده و قصد دارد تعدادی از کانتینرهای خود را تخلیه کند. هر کانتینر می تواند یکی از این دو مسیر را طی کند: انتقال مستقیم از اسکله به محوطه از قبل تعیین شده در انبار و یا ابتدا انتقال به یک محوطه انبارش موقت به نام مارشالینگ یارد و سپس انتقال به محوطه انبارش از پیش تعیین شده. مطابق با این دو مسیر دو مساله بوجود خواهد آمد. بنابراین ما در این مقاله قصد داریم تا این دو مسیر را که منجر به دو استراتژی انبارش می شوند مورد مقایسه قرار دهیم. استراتژی اول سیاست حال حاضر در بندر کانتینری شهید رجایی می



<sup>3</sup> Container Terminal (CT)

باشد که کانتینرها را پس از تخلیه از روی کشتی مستقیماً به محوطه انبارش از پیش تعیین شده هر کانتینر منتقل می کند که در شکل 1 نشان داده شده است و مساله دوم استراتژی پیشنهادی این مقاله می باشد که در آن فضایی به نام انبار موقت در نزدیکی اسکله ایجاد خواهد شد.

شکل 1: استراتژی انبارش و انتقال مستقیم کانتینرها از اسکله به محوطه انبارش



شکل 2: استراتژی پیشنهادی برای انتقال موقت کانتینرها به فضای مارشالینگ یارد

این فضا مسئولیت نگهداری موقت کانتینرها را برعهده داشته و پس از مدتی کانتینرها از این فضا به محوطه ی انبارش اصلی منتقل خواهند شد. این استراتژی در شکل 2 مشخص است. در حال حاضر محوطه انبارش بندر کانتینری شهید رجایی براساس نوع کانتینرها تقسیم بندی شده است و هر کانتینر در فضای اختصاص داده شده به آن قرار می گیرد. بنابراین کانتینرهای رسیده به بندر مقصد مشخصی را در محوطه انبارش خواهند داشت. اما در مدل پیشنهاد شده برخی از کانتینرها به صورت مستقیم به محوطه انبارش منتقل شده و برخی نیز ابتدا به مارشالینگ یارد ارسال می شوند تا پس از توقف کوتاه مجدد به مقصد اصلی در محوطه انبارش منتقل شوند. کانتینرها در فضای مارشالینگ یارد به صورت تصادفی چیده می شوند، بنابراین هیچ فضای مشخصی برای هیچ کانتینری از قبل ذخیره نشده است. پس از آنکه این کانتینرها در فضای مارشالینگ یارد چیده شدند و وضعیت کامیون ها به حالت بیکار درآمد، نوبت آن می رسد که مجدداً کانتینرها بر روی کامیون ها بارگیری شده و به مقصد اصلی در محوطه انبارش منتقل شوند.

البته استراتژی مارشالینگ یارد از منظر تعداد بارگیری و تخلیه نمی تواند اثر بخش باشد به این دلیل که برای هر کانتینری که به این فضا منتقل می شود می بایست یک تخلیه و یک بارگیری اضافه انجام داد اما به هر حال دارای مزیت های دیگری می باشد. به عنوان مثال از آنجا که تمامی کانتینرها ی منتقل شده به مارشالینگ یارد با یکدیگر به صورت یکجا انبارش می شوند، یک جرثقیل چرخ دار می تواند برای بارگذاری و بار برداری از این فضا کافی باشد و زمانی برای انتقال کانتینر در بین زیر بلوک های فضای مارشالینگ یارد از طرف جرثقیل چرخ دار صرف نمی شود. به عبارت دیگر زمانی که درجه بالایی از تفکیک چیدمان کانتینرها در بین زیر بلوک های یک محوطه انبارش وجود داشته باشد، میزان بهره برداری از جرثقیل ها چه در اسکله و چه در فضای انبارش کاهش می یابد زیرا پراکندگی در چیدمان منجر به صرف زمان زیادی برای انتقال به نقاط مختلف محوطه انبارش می شود. این خاصیت در استراتژی کنونی بندر وجود دارد و ما قصد داریم تا با ایجاد فضای مارشالینگ یارد مرکزی در چیدمان اولیه کانتینرها ایجاد کنیم تا منجر به افزایش بهره برداری از تجهیزات بندر شود.

## مدل شبیه سازی

در این بخش قصد داریم تا جزئیات مدل ایجاد شده برای استراتژی مارشالینگ یارد را توضیح دهیم. ساختار مدل، داده های ورودی، دوره گرم شدن مدل و بررسی صحت مدل در این قسمت شرح داده می شوند.

## ▪ ساختار مدل

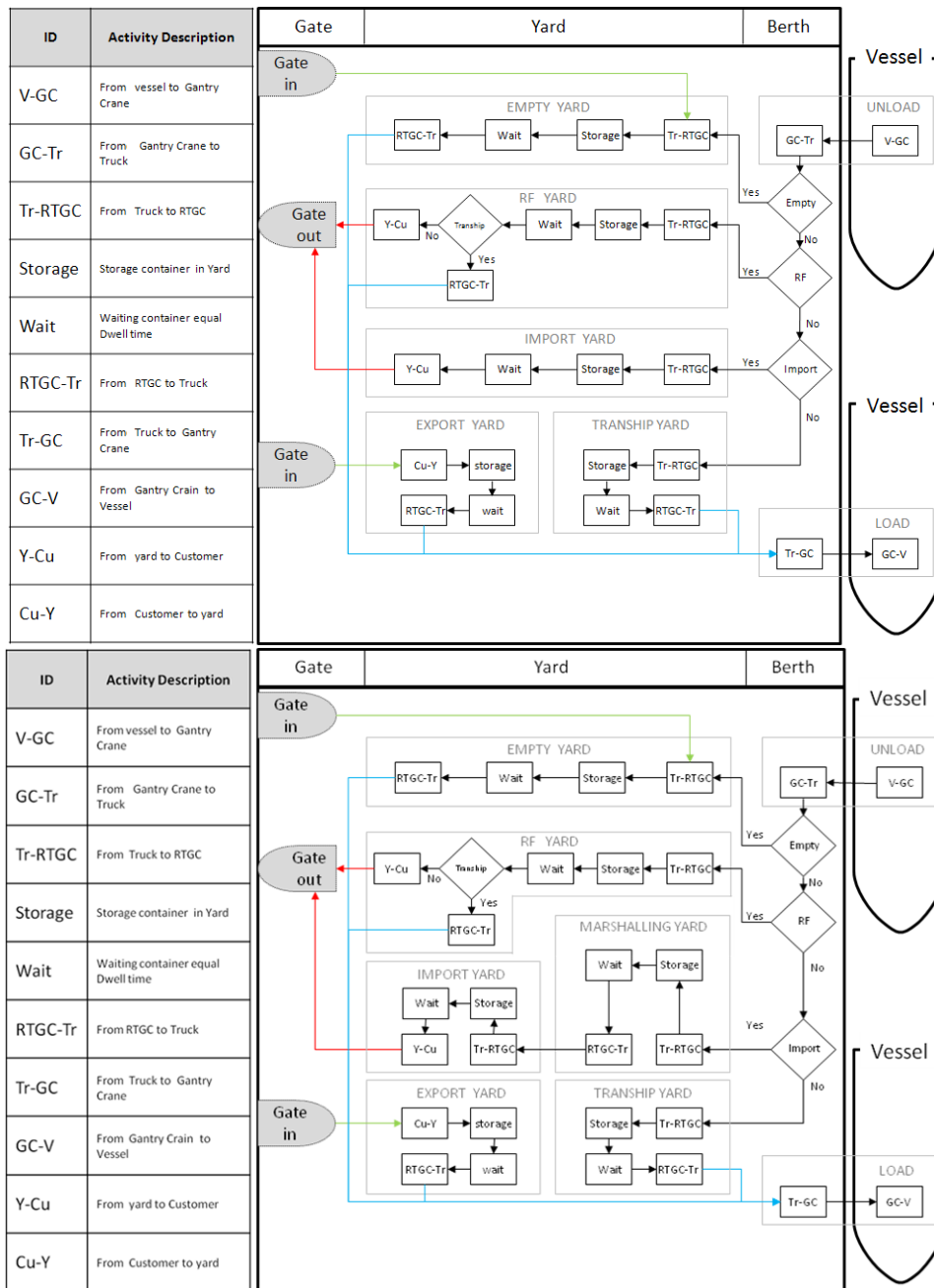
ساختار مدل شبیه سازی مارشالینگ یارد از سه زیر مجموعه تشکیل شده است که منابع ورودی به بدنه اصلی مدل را فراهم می کند. این سه زیر سیستم دقیقاً مشابه سه زیر سیستمی است که در مدل ساخته شده توسط عظیمی و قنبری (7) برای استراتژی کنونی بندر کانتینری شهید رجایی ارائه شده است. در حقیقت منابع ورودی برای دو استراتژی یکسان است، بنابراین سه زیر سیستم در دو استراتژی دقیقاً مشابه یکدیگر است. کانتینرها در زیر سیستم 1 تولید می شوند. در این زیر سیستم کانتینرها با توجه به ابعاد، نوع حمل و نقل و محتوی دورن آنها با توجه به داده های جمع آوری شده تولید شده و بر روی کشتی ها قرار می گیرند. پس از آن کشتی ها وارد از طریق زیر سیستم 2 وارد بندر می شوند. نرخ ورود کشتی ها از یک تابع توزیع نمایی پیروی می کند که از تحلیل داده های تاریخی بدست آمده است. در نهایت در زیر سیستم 3 کشتی ها وارد لنگرگاه می شوند و منتظر خواهند ماند تا پس از فراهم شدن شرایط ورود به اسکله وارد بدنه اصلی مدل شوند. جزئیات بیشتری از این سه زیر سیستم را می توانید در (7) مشاهده کنید.

## ▪ بدنه اصلی مدل

در بدنه اصلی مدل، روش تخلیه و بارگیری کشتی ها، تجهیزات مورد نیاز برای این منظور، جابه جایی کانتینرها از اسکله به محوطه انبارش و بالعکس و فرآیند ذخیره سازی کانتینرها در محوطه انبارش و فضای مارشالینگ یارد را توضیح خواهیم داد. همچنین تفاوت اصلی مابین سیستم انبارش کنونی و سیستم انبارش در مارشالینگ یارد در این قسمت مشخص خواهد شد.

همانطور که شکل 3 نشان می دهد، در سیستم انبارش کنونی کانتینرها در اسکله تخلیه می شوند و پس از انتقال مستقیم به محوطه انبارش در فضاهای از پیش تعیین شده انبار می شوند و تا زمانی که قصد ترک ترمینال را داشته باشند در این فضا انبار می شوند. همچنین کانتینرهای خالی و کانتینرهای صادراتی که به منظور بارگیری بر روی کشتی ها در بلوک های مشخص شده در محوطه انبارش قرار دارند، تا لحظه بارگیری بر روی کشتی در محوطه انبارش باقی خواهند ماند.

در شکل 4 یک فضای انبارش اضافه بر شکل 3 وجود دارد. این فضا مارشالینگ یارد نامیده می شود. فضای مارشالینگ یارد به کانتینرهای وارداتی اختصاص داده می شود. بنابراین کانتینرهای وارداتی به منظور انبارش موقت پس از تخلیه از روی کشتی به این فضا منتقل می شوند و مابقی کانتینرها پس از تخلیه به صورت مستقیم به محوطه انبارش منتقل می شوند. پس از آنکه جرثقیل ها ی چرخ دار و کامیون ها بیکار شوند، برای انتقال کانتینرهای وارداتی قرار گرفته در مارشالینگ یارد فراخوانی شده و کانتینرها را از این فضا به محوطه اصلی انبارش منتقل می کنند. در سیستم انبارش مارشالینگ یارد نحوه ی بارگیری کامیون ها بر روی کشتی ها همانند روشی است که در سیستم حال حاضر بندر وجود دارد.



شکل 3: بدنه اصلی مدل سیستم انبارش کنونی در بندر کانتینری شهید رجایی

شکل 4: بدنه اصلی مدل استراتژی مارشالینگ یارد

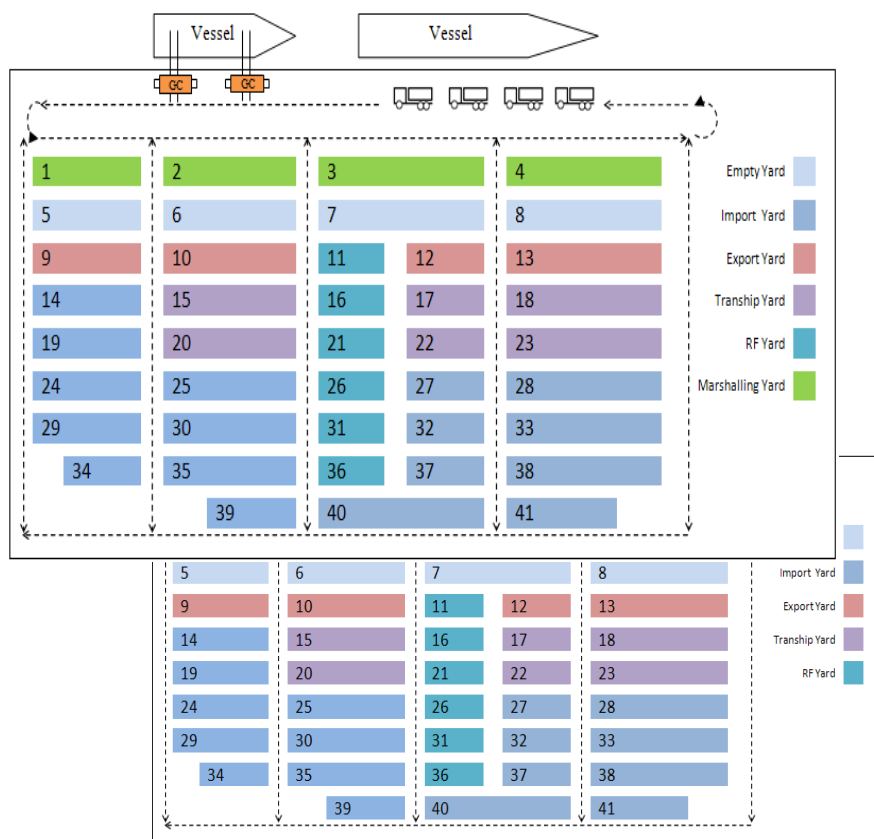
### ▪ جمع آوری داده ها

داده های مورد نیاز برای ایجاد مدل از میان مستندات و اطلاعات ذخیره شده بندر کانتینری شهید رجایی در سال های 2010 و 2011 جمع آوری شد و مورد تحلیل قرار گرفت. این داد ها مربوط به ورود تعداد 935 کشتی به بندر کانتینری شهید رجایی بود که شامل زمان های ورود، زمان پهلو گیری، مدت زمان انجام عملیات، تعداد کانتینرها ی تخلیه شده و بارگیری شده بر روی کشتی، طول کشتی و زمان خروج کشتی از بندر می باشد. مابقی اطلاعات در رابطه با تجهیزات مورد استفاده در بندر و محوطه انبارش می باشد. برای بدست آوردن توابع آماری مناسب از داده های جمع آوری شده و انجام تحلیل های آماری، از نرم

افزار Easy Fit استفاده کرده ایم. با تحلیل داده های تاریخی مشخص شد که نوع و اندازه کانتینرها از یک تابع توزیع تجربی پیروی می کنند. همچنین تحلیل زمان های ورود کشتی ها به بندر و استفاده از آزمون کای مربع نشان داد که توزیع زمان بین ورود دو کشتی متوالی از یک تابع توزیع نمایی با متوسط 9.41 ساعت پیروی می کند.

برای طول کشتی ها نیز یک تابع توزیع تجربی بدست آوردیم که طول را به 15 دسته تقسیم می کند. هر کشتی تعداد مشخصی کانتینر را برای تخلیه با خود به بندر آورده و تعداد مشخصی نیز برای بارگیری در نظر می گیرد. تعداد کانتینرهای مورد نظر برای تخلیه و بارگیری نیز دارای یک تابع توزیع تجربی بدست آمده از داده های تاریخی می باشد. با توجه به جمع آوری داده از عملیات سیستم واقعی در بندر، تعداد جابه جایی هایی که یک گنتری کرین انجام می دهد دارای تابع توزیع نرمال با میانگین 21 جابه جایی در ساعت و انحراف استاندارد 5.56 می باشد. از طرف دیگر زمان انجام هر جابه جایی توسط گنتری کرین یک تابع توزیع لوگ نرمال با پارامترهای 180.83 ثانیه و 49.86 دارد.

با تحلیل 10 گنتری کرین موجود در ترمینال شماره 1 بندر کانتینری شهید رجایی و در نظر گرفتن اینکه زمان انتظار قبل از تعمیر برای گنتری کرین ها<sup>4</sup> برابر با صفر است، و همچنین میانگین زمان تعمیر<sup>5</sup> برای هر گنتری کرین از یک تابع توزیع تجربی استفاده می کند، شاخص مرتبط با میانگین زمان بین دو خرابی<sup>6</sup> برای تمامی گنتری کرین ها از توزیع ویبول پیروی خواهد کرد.



شکل 5: چیدمان بلوک ها در سیستم حال حاضر بندر

مطابق با مشخصات فنی جرثقیل های چرخ دار، مدت زمان خدمت دهی برای تخلیه یا بارگیری توسط این تجهیزات برابر با یک تابع توزیع نرمال با میانگین 84.25 ثانیه و انحراف استاندارد 18.92 می باشد. تعداد 41 جرثقیل چرخ دار در محوطه انبارش حضور خواهند داشت که برای هر بلوک در محوطه

<sup>4</sup> MTBR

<sup>5</sup> MTTR

<sup>6</sup> MTTF

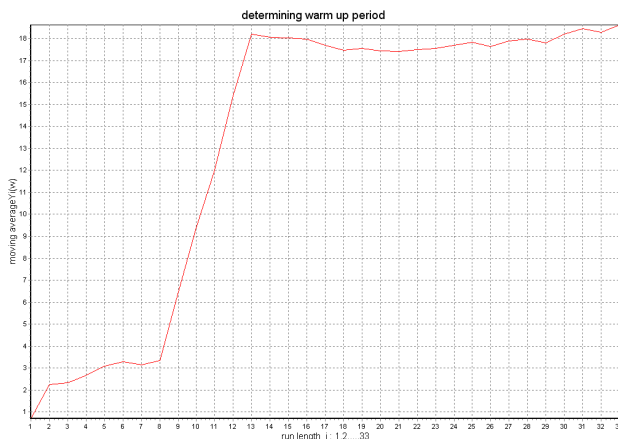
انبارش یک جرثقیل چرخ دار اختصاص داده شده است. سبک چیدمان بلوک ها در محوطه انبارش سیستم حال حاضر و چیدمان بلوک ها در مدل پیشنهادی مارشالینگ یارد به ترتیب در شکل های 5 و 6

شکل 6: چیدمان بلوک ها در استراتژی مارشالینگ یارد

نمایش داده شده است. در واقع در مدل پیشنهادی مارشالینگ یارد فضای بلوک های یک ، دو، سه و چهار را به مارشالینگ یارد اختصاص دادیم که در سیستم حال حاضر به کانتینرهای خالی تعلق دارد. ظرفیت انبارش این 4 بلوک حدود 3500 TEU می باشد. در دو استراتژی مورد مطالعه تعداد 50 کامیون مسئولیت حمل و نقل کانتینرها بین اسکله، انبار و فضای مارشالینگ یارد را به عهده خواهند داشت. بیشترین سرعت مجاز برای حرکت کامیون ها در فضای ترمینال 25 کیلومتر در ساعت می باشد. مسیر های حرکتی کامیون ها و یک طرفه یا دو طرفه بودن آنها در شکل های 5 و 6 نشان داده شده است.

#### ▪ دوره گرم شدن مدل

در ابتدای اجرای مدل شبیه سازی، مدل خالی از هرگونه موجودی و کانتینر است، بنابراین داده های خروجی حاصل از آن ممکن است برای تحلیل مناسب نباشند. برای جلوگیری از این مساله یک دوره زمانی با عنوان مدت زمان گرم شدن مدل در نظر گرفته می شود. این دوره مدت زمان گذر سیستم از حالت ناپایدار به حالت پایدار و بدون نوسان است. روش های متعددی برای مشخص کردن مدت زمان گرم شدن مدل وجود دارد. در این مطالعه ما از روش ولش (15) استفاده کرده ایم. این روش بر پایه تکرار در دوره های زمانی متفاوت از شبیه سازی و ترسیم یک نمودار گرافیکی از میانگین متحرک یک شاخص اندازه گیری استوار است. معیار اندازه گیری که در اینجا استفاده شده است، تعداد کشتی های خارج شده از بندر در طول مدت یک هفته است. مطابق نتایج، مقدار معیار برای 35 هفته بدست آمد که این مقدار در هر هفته از 10 بار تکرار مدل شبیه سازی حاصل شده بود. در نهایت با ترسیم نمودار گرافیکی از میانگین متحرک این معیار نشان داده شد که پس از 13 هفته مدل شبیه سازی به حالت پایدار خود رسیده ، بنابراین برای انجام تحلیل های آماری می توان 13 هفته را به عنوان مدت زمان گرم شدن مدل در نظر گرفت. شکل 7 نمودار مدت زمان گرم شدن مدل شبیه سازی را نشان می دهد.



شکل 7: نمودار دوره ی گرم شدن مدل

#### ▪ صحت مدل شبیه سازی

با توجه به اینکه مدل شبیه سازی ارائه شده در در یک محیط گرافیکی ساخته شده است و همچنین نرم افزار شبیه سازی ابزار متنوعی برای ایجاد انیمیشن و طراحی سه بعدی در اختیار مدل ساز قرار می دهد، مدل از درجه بالایی از لحاظ صحت عملکرد دارا می باشد. اما از آنجا که مدل پیشنهاد شده برای مارشالینگ یارد، یک استراتژی جدید در بندر بوده و تا کنون به صورت اجرایی انجام نشده است، بار خور مناسبی از این استراتژی نداشته و نمی توانیم داده های سیستم واقعی را جمع آوری کرده تا در مقایسات آماری مورد استفاده قرار دهیم. بنابراین انجام مقایسه آماری ما بین مدل ساخته شده و سیستم واقعی مارشالینگ یارد به منظور انجام معتبر سازی مدل امکان پذیر نبوده و به فرآیند صحت گذاری مدل اکتفا می کنیم.

#### ▪ نتایج آزمایشات



در این بخش قصد داریم تا با انجام آزمایشات مناسب به تحلیل استراتژی مارشالینگ یارد پردازیم. بنابراین از طراحی آزمایشات برای مقایسه دو گزینه زیر استفاده می کنیم:

- گزینه 1: سیستم انبارش کنونی برای انتقال مستقیم کانتینرها به محوطه انبارش
  - گزینه 2: استراتژی مارشالینگ یارد برای ذخیره سازی موقت کانتینرها و انتقال مجدد آنها به محوطه انبارش
- مطابق آنچه در قسمت 3 توضیح داده شد، مدل شبیه سازی را اجرا کرده و نتایج خروجی را ثبت کردیم. همچنین از معیار نرم تخلیه و بارگیری به منظور مقایسه دو استراتژی استفاده کردیم. در قدم اول تعداد تکرارهای مورد نیاز برای اجرای مدل را تعیین می کنیم. مطابق (15) و با استفاده از روش چانگ، نتیجه گرفتیم که تعداد 10 بار اجرا برای انجام شبیه سازی اکتفا می کند.
- پس از آن آزمایشات را مطابق مشخصات زیر برای اجرای مدل مارشالینگ یارد انجام دادیم:
- مدت زمان اجرای هر آزمایش یک سال در نظر گرفته شد.
  - تعداد تکرار برای هر آزمایش 10 تکرار معین گردید.
  - مدت زمان گرم شدن مدل نیز 13 هفته می باشد.
- نتایج خروجی آزمایشات در جدول 1 آورده شده است:

جدول 1: نتایج خروجی از آزمایشات برای مدل مارشالینگ یارد										
شماره اجرای شبیه سازی	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
میانگین نرم تخلیه و بارگیری (جابه جایی در ساعت)	53.72	54.82	56.49	57.61	63.56	57.20	53.89	59.61	58.88	62.77

همچنین ما معیار نرم تخلیه و بارگیری را برای سیستم کنونی انبارش از داده های تاریخی جمع آوری کردیم. بنابراین دو مجموعه از داده ها را در اختیار داریم. مجموعه اول از داده ها شامل 395 شاخص نرم تخلیه و بارگیری می باشد که از سیستم واقعی و حال حاضر در بندر کانتینری شهید رجایی جمع آوری شده است و مجموعه دوم از داده ها شامل 10 نرم تخلیه و بارگیری می باشد که مرتبط با اجرای مدل شبیه سازی است. به منظور مقایسه دو استراتژی ما از دیدگاه فاصله اطمینان و لث مطابق با (15) استفاده کردیم. این دیدگاه بدترین حالت از عدم تشابه واریانس ها میان دو مجموعه از داده ها را در نظر می گیرد. دیدگاه فاصله اطمینان و لث بر پایه آزمون  $t$  از اسمیت-ستروایت می باشد. پس از محاسبه میانگین و انحراف استاندارد برای هر یک از مجموعه داده ها، می بایست تخمین زننده  $t$  درجه آزادی را با استفاده از روش اسمیت-ستروایت و به شکل زیر محاسبه کنیم:

$$d.f. = \frac{\left[ \frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right]^2}{\frac{\left[ \frac{s_1^2}{n_1} \right]^2}{n_1 - 1} + \frac{\left[ \frac{s_2^2}{n_2} \right]^2}{n_2 - 1}}$$

جاییکه :

$d.f.$  = درجه آزادی

$S_1^2$  = واریانس نمونه مجموعه اول از داده ها

$S_2^2$  = واریانس نمونه مجموعه دوم از داده ها

$n_1$  = اندازه نمونه مجموعه اول از داده ها

$n_2$  = اندازه نمونه مجموعه اول از داده ها

مطابق آزمون اسمیت - ستروایت، درجه آزادی محاسبه شده با این روش عددی صحیح نخواهد بود. بنابراین می بایست درجه آزادی تخمین زده شده را به نزدیک ترین عدد صحیح کوچکتر از آن گرد کنیم. حال می توان فاصله اطمینان ولش را با استفاده از فرمول زیر محاسبه نمود:

$$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 \pm t_{d.f., 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}$$

جاییکه:

$\bar{x}_1$  = میانگین تعداد تکرارهای گزینه اول

$\bar{x}_2$  = میانگین تعداد تکرارهای گزینه اول

t = مقدار تابع توزیع t برای درجه آزادی محاسبه شده و  $1-\alpha/2$

معادله بالا فاصله ولش را در در یک سطح از اطمینان مشخص می کند. این معادله را نهایتاً می توان به صورت یک بازه ی داره ی کمینه و بیشینه به این شکل نشان داد: [ کمینه ، بیشینه ]

اگر این فاصله اطمینان در بر دارنده ی مقدار صفر باشد، اختلاف معنای داری میان دو گزینه مطرح شده وجود ندارد. به طور عکس، اگر فاصله اطمینان مقدار صفر را پوشش ندهد، اختلاف آماری معنای داری بین دو گزینه وجود خواهد داشت.

میانگین و انحراف استاندارد معیار نرم تخلیه و بارگیری برای دو گزینه در جدول 2 نشان داده شده است، برای محاسبه فاصله اطمینان در سطح  $\alpha$  برابر با 0.05، ابتدا از تخمین زننده ی درجه آزادی استفاده کردیم که مقدار آن در جدول 2 آمده است. همچنین مطابق محاسبات انجام شده در جدول 2، فاصله اطمینان بدست آمده به شکل زیر می باشد:

[-10.43, -4.35]

این فاصله اطمینان در بردارنده ی مقدار صفر نمی باشد، بنابراین ما می توانیم نتیجه بگیریم که دو گزینه از لحاظ آماری دارای اختلاف معناداری می باشند. اما از آنجا که مقدار میانگین شاخص نرم تخلیه و بارگیری برای مارشالینگ یارد دارای مقدار 57.85 بوده و در مقابل این شاخص برای گزینه 1 که همان سیستم انبارش کنونی بندر است برابر با 50.46 است، در شرایط یکسان می توان گزینه 2 را پیشنهاد نمود. بدین معنی که اجرای مارشالینگ یادر در بندر کانتینری شهید رجایی به افزایش معیار نرم تخلیه و بارگیری کمک خواهد نمود.

جدول 2: محاسبات فاصله اطمینان ولش برای شاخص نرم تخلیه و بارگیری			
تعداد نمونه n	واریانس	میانگین	گزینه
395	415.87	50.46	1: سیستم انبارش حال حاضر در بندر
10	11.70	57.85	2: استراتژی مارشالینگ یارد
		31.90	d.f
		31	مقدار گرد شده ی d.f
		2.042	مقدار تابع توزیع t برای 31 درجه آزادی و $\alpha/2=0.025$
-10.43		کمترین مقدار	فاصله اطمینان ولش
-4.35		بیشترین مقدار	

حال برای انجام تحلیل های بیشتر، جدول 3 را ارائه می کنیم. در واقع این جدول تعدادی از مقایسات میان نتایج آزمایشات استراتژی مارشالینگ یارد و سیستم انبارش کنونی را به نمایش می گذارد. همانطور که در بالا نیز ذکر شد، با در نظر گرفتن سطر اول این جدول، نرم تخلیه و بارگیری یک رشد برابر 14.7 درصد در استراتژی مارشالینگ یارد خواهد داشت. این افزایش به معنای افزایش خدمت رسانی به کشتی ها می باشد. همانطور که در سطر 2 نیز دیده می شود، میانگین زمان عملیات بر روی هر کشتی از مقدار 17.53 ساعت در سیستم کنونی به مقدار 15.85 ساعت در استراتژی مارشالینگ یارد کاهش پیدا می کند. مطابق با آنچه در سطر 3 جدول آمده است، هنگامیکه از استراتژی مارشالینگ یارد استفاده می کنیم، می توانیم یک افزایش در تعداد کشتی های خارج شده از بندر در طول یک سال مشاهده کنیم. به عبارت دیگر، ما می توانیم خدمات بیشتری به کشتی با استفاده از مارشالینگ یارد ارائه کنیم. در نتیجه کاهش زمان عملیات بر روی هر کشتی و افزایش سرعت خدمت دهی، تعداد کشتی های خارج شده از بندر در طول یکسال به عدد 971 کشتی خواهد رسید.

جدول 3: مقایسات میان عملکرد سیستم انبارش کنونی و استراتژی مارشالینگ یارد			
ردیف	شاخص عملکردی	میانگین خروجی مدل شبیه سازی	سیستم کنونی
1	میانگین نرم تخلیه و بارگیری (جابه جایی در ساعت)	57.85	50.46
2	میانگین زمان عملیات بر روی یک کشتی (ساعت)	15.85	17.53
3	تعداد کشتی های خدمت داده شده در یک سال	971	935
4	زمان کل عملیات بر روی کشتی ها در یک سال (ساعت)	15390.35	16390.55

برای تحلیل این حالات باید گفت هنگامیکه نرخ خدمت دهی به کشتی ها افزایش پیدا می کند، تعداد مشتریانی که خدمت گرفته و سیستم را ترک می کنند افزایش خواهد یافت و این به معنای افزایش سطح خدمت دهی به مشتریان می باشد.

با ایجاد یک فضای انبار موقت نزدیک اسکله، کامیون ها مسافت کوتاه تری را برای انتقال کانتینرهای تخلیه شده از کشتی ها از اسکله به مارشالینگ یارد طی می کنند و زمان انتقال در این مسیر کاهش می یابد، بنابراین گنتری کرین ها زمان کمتری را در انتظار رسیدن کامیون ها به اسکله صرف می کنند و این دقیقاً به این معناست که گنتری کرین ها زمان بیشتری را برای انجام عملیات تخلیه و بارگیری در اختیار دارند، بنابراین تعداد کانتینرهای تخلیه و بارگیری شده توسط گنتری کرین ها افزایش پیدا می کند و در پی آن نرم تخلیه و بارگیری افزایش خواهد یافت.

همانطور که در ردیف 4 جدول آمده است، با وجود اینکه تعداد کشتی های خدمت دهی شده در طول یکسال از مقدار 935 به 971 افزایش پیدا کرده اند، اما زمان کل خدمت دهی به کشتی ها با کاهش رو به رو شده است و این کاهش زمان عملیات، فرصت بالقوه مناسبی را برای گسترش حجم عملیات تخلیه و بارگیری در بندر ایجاد می کند.

با فرض اینکه تعداد کشتی های خدمت داده شده در سیستم حال حاضر در بندر تعداد 935 کشتی در یک سال، میانگین زمان خدمت دهی به هر کشتی برابر با 17.53 ساعت و نرخ تخلیه و بارگیری برای هر کشتی 50.46 جابه جایی در ساعت باشد، ظرفیت تخلیه و بارگیری تعداد 827000 جابه جایی در سال خواهد شد. از طرف دیگر، با انجام مارشالینگ یارد این ظرفیت به مقدار 890000 جابه جایی در سال خواهد رسید که مشخص کننده ی رشد 7.62 درصدی در حجم عملیات تخلیه و بارگیری خواهد بود.

## نتیجه گیری

در این مقاله ما یک مدل شبیه سازی برای استراتژی مارشالینگ یارد بر پایه ی یکپارچه سازی زیر سیستم های بندر کانتینری شهید رجایی و در نظر گیری مشخصه های جزئی تجهیزات حمل و نقل ارائه کردیم. با تحلیل نتایج خروجی از مدل شبیه سازی و در نظر گیری شاخص نرم تخلیه و بارگیری به عنوان یک معیار عملکردی بندر، نشان داده شد که بکار گیری مارشالینگ یارد می تواند نسبت به سیستم مورد استفاده کنونی شاخصه های عملکردی مناسب تری داشته باشد. زیرا می تواند در کنار سرعت بخشی به انجام عملیات تخلیه و بارگیری در کنار اسکله ظرفیت و حجم این عملیات را نیز در طول یکسال افزایش دهد.

این افزایش عملکرد در بندر هنگامی قابل تامل است که ایجاد فضای مارشالینگ یارد نیازی به سرمایه گذاری در بخش تجهیزات نخواهد داشت. نتایج آزمایشات نیز نشان داد که نرم تخلیه و بارگیری در استراتژی مارشالینگ یارد افزایش حدود 14.7 درصد خواهد داشت که می تواند حجم عملیات تخلیه و بارگیری را تا 7.62 درصد در یک سال افزایش دهد.

## منابع

- [1] I. Vacca, M. Bierlaire, M. Salani, "Optimization at Container Terminals: Status, Trends and Perspectives," 7th Swiss Transport Research Conf. Monte Verita /Ascona, September 12-14. 2007.
- [2] L. Henesey, P. Davidsson, J. A. Persson, "Agent Based Simulation Architecture for Evaluating Operational Policies in Transshipping Containers," Multi agent System Technologies, LNAI, Vol. 4196, Springer, pp 73-85, 2006.
- [3] D. Nazari, "Hundred Container Ports in the World," Port and Sea, 97-98, 2011.
- [4] E. Kozan, "Comparison of analytical and simulation planning models of seaport container terminals," transportation planning and technology, 20 (3), 235-248, 1997.
- [5] A. A. Shabayek, W. W. Yeung, "Simulation Model for the Kwai Chung Container Terminals in Hong Kong," European Journal of Operational Research, 140, 1-11, 2002.
- [6] W. Young Yun, Y. Seok Choi, "A Simulation Model for Container Terminal Operation Analysis Using an Object-Oriented Approach," Int. J. Production Economics, 59, 221-230, 1999.
- [7] P. Azimi, M. R. Ghanbari, "Simulation Modeling for Analysis and Evaluation of the Internal Handling Fleet System at Shahid Rajaei Container Port," World Academy of Science, Engineering and Technology Proceedings, 78, 644-655, 2011.
- [8] Y. C., Chung and S. U. hawa, "A simulation analysis for a transstainerbased container handling facility," Computers and Industrial Engineering, 14 (2) 113-125, 1988.
- [9] A. Carteni, G. E. Cantarella, G. E. De Luca, "Simulation of a Container Terminal through a Discrete Event Approach: Literature Review and Guidelines for Application," Technical Paper, Dept. of Civil Engineering, University Of Salerno, European Transport Conference, 2009 Proceedings.
- [10] I. F. A., Vis, R. de Koster, and M. Savelsbergh, "Minimum vehicle fleet size under time-window constraints at a container terminal," Transportation Science, 39: 249-260, 2005.
- [11] L. H., Lee, E. P., Chew, K. C., Tan and Y. Han, "An optimization model for storage yard management in transshipment hubs," OR Spectrum, 28: 539-561, 2006.
- [12] Y., Lee, and N. Y., Hsu, "An optimization model for the container premarshalling problem," Computers and Operations Research, 34: 3295- 3313, 2007.
- [13] Y. Yong and Y. Yang, "Evaluation of Marshaling Yard Layout with Game Theory," Proceedings of the 2010 International Conference of Logistics Engineering and Management, Volume V.
- [14] S. P. J. Hilken, M.s Thesis, "Pre-stacking at a large transshipment terminal trade-off between the costs of segregation and quay crane productivity," Eindhoven University of Technology, 2002.

New York: Mcgraw Hill. 2000 [15] A. M. Law, W. D. Kelton, Simulation Modeling and Analysis, 3rd Ed.