



ارائه مدل پیش بینی عملکرد پایانه کانتینر در بنادر با رویکرد پویایی سیستم

وحید حیدرپور^{۱*}، مصطفی زندیه^۲، حسن فارسیجانی^۳، مسعود ربیعه^۴

Vahid_heidarpour@hotmail.com
m_zandieh@sbu.ac.ir

چکیده

با توجه به ماهیت علت و معلولی بخش حمل و نقل دریایی و تاثیر متقابل متغیرها در این بخش و نیز پیچیدگی های حاکم بر آن لازم است تا به کمک ابزارهایی، سیاستهای اتخاذ شده در این بخش مورد آزمون قرار گیرد. دغدغه مورد نظر در این مقاله پیش بینی عملکرد ترمینال کانتینری از حیث تعداد کانتینر تخلیه و بارگیری شده، زمان کل حضور کشتی از زمان ورود به لنگرگاه تا خروج از بندر و در صد اشغال اسکله ترمینال کانتینری می باشد. در این تحقیق، مدل پویای عملکرد ترمینال کانتینر بنادر، با استفاده از روش پویای سیستم ها ارائه شده است. اعتبار مدل پیشنهادی با استفاده از داده های تاریخی ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۴ بندر شهید رجایی مورد تأیید قرار گرفته است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که با افزایش ۱ دستگاه گنتری کرین تعداد کل کانتینرهای جابه جا شده ۱۲/۵٪ افزایش و متوسط زمان کشتی ۳۰٪ کاهش می یابد. با سرمایه گذاری و ساخت یک اسکله تعداد کل تخلیه/بارگیری ۴٪ افزایش و متوسط زمان کشتی ۳۷٪ کاهش می یابد. در حالی که با ساخت ۱ اسکله و همچنین افزایش یک دستگاه گنتری کرین تعداد کل تخلیه/بارگیری ۳۷٪ افزایش و زمان کشتی ۴۵٪ کاهش می یابد. مدل پیشنهادی کمک می نماید که مدیران، از اثرات تصمیمات و سیاست های خود در طراحی و توسعه آینده ترمینالهای کانتینری و نتایج آنها تصویر روشنی داشته باشند.

کلید واژه ها: سیستم های پویا، عملکرد، ترمینال کانتینری، پیش بینی، بندر شهید رجایی.

۱- مقدمه

حمل و نقل دریایی نقش عمده ای در تجارت دریایی و رشد اقتصادی جهان دارد. بیش از ۹۰ درصد کالاهای جهان از طریق حمل و نقل دریایی جابجا می شوند که این میزان به طور تخمینی ۹۹ درصد اقتصاد جهان را در بر دارد [۱]. بنادر تجاری جهان در هر کشور به عنوان هسته فعالیتهای تجاری میباشند که از آن شهرها و سرمایه های ملی و مناطق داخلی پر رونق پدیدمی آیند. هم زمان با رشد و توسعه سریع اقتصاد جهان، از سال ۱۹۶۰ میلادی، صنعت حمل و نقل جهان به سمت یک مدل حمل و نقل به نام حمل و نقل کانتینر توسعه و گسترش پیدا کرده است. حمل و نقل کانتینری دارای مزایای زیادی از جمله ایمنی کالا، تسریع در حمل و همچنین باعث بهبود کارائی و کیفیت در صنعت حمل و نقل جهان شده است. محققین در همه جای دنیا به فکر توسعه حمل و نقل کانتینری بوده و تمرکز بر روی تعداد کانتینر حمل و نقل شده در هر کشور به عنوان یکی از شاخص های مهم پیشرفت حمل و نقل آن کشور مطرح می باشد [۲].

۱ - دانش آموخته دکتری، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲- دانشیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳- دانشیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۴- استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.



بنابراین پیش بینی تعداد کانتینر برای اجرای سیاستهای عملیاتی و توسعه امکانات بندر نقش حیاتی دارد. امروزه بنادر مدرن برای خوشه بندی بنادر بر اساس نوع کالای موجود در هر کانتینر، حمل سریع کالاهای کانتینر و در نتیجه جذب کشتی های بزرگ مانند سوپر پاناما کس با مشکلات جدی در زمینه پیش بینی تعداد کانتینر با استفاده از روشهای پیش بینی بر مبنای داده های تاریخی از جمله رگرسیون روبرو هستند. چرا که مدلهائیکه صرفا بر اساس داده های قدیمی پیش بینی می کنند، به خاطر عدم بررسی عواملی مانند شرایط ملی بندر، شرایط اقتصاد جهانی، سیاستهای ملی از انعطاف پذیری و چابکی مورد نیاز مدل می کاهد. بنادر دارای سیستم های لجستیک پویا و پیچیده می باشند که از ارتباط عناصر بی شمار و تحت تاثیر عوامل تصادفی تشکیل شده اند.

بهره وری بنادر یک شرط مهم به منظور زنده ماندن در رقابت جهانی تجارت حمل و نقل می باشد. ایجاد زیر ساختها، تجهیزات و توسعه امکانات در بنادر برای اجرا و خرید بسیار گران می باشند، از این رو استفاده ناکارا از آنها باعث از دست دادن سرمایه و افزایش هزینه های عملیاتی بنادر می گردد. بنابراین اهدافی مانند داشتن ترمینال کانتینری با توان عملیاتی بالا، نرخ بهره وری بالای تجهیزات، کاهش زمانهای تخلیه و بارگیری، کاهش زمان معطلی کشتی ها، کاهش ترافیک و ازدحام کشتی و کامیون در ترمینال کانتینری و همچنین کاهش هزینه های سرمایه گذاری و عملیاتی از اهمیت به سزائی برخوردار است. هدف از این مقاله، ارائه مدل پویایی سیستم برای عملکرد ترمینال کانتینر در بنادر است. به گونه ای که نه تنها متغیرهای درونی، بلکه تاثیر محیط خارجی سیستم نیز بر روی مدل مورد بررسی مورد مطالعه قرار گرفته است. هدف از پژوهش انجام شده، ارائه مدلی انعطاف پذیر و پویا برای پیش بینی دقیق تر عملکرد بنادر می باشد.

۲- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

توسعه امکانات صنعت لجستیک بندر بر اساس پیش بینی تعداد کانتینر تخلیه و بارگیری شده انجام میشود به عبارت دیگر پیش بینی حجم تعداد کانتینر تخلیه و بارگیری شده تاثیر بسیار زیادی در میزان توسعه بندر دارد. جانگ و همکاران با تاکید بر تحلیل ارتباط توسعه بندر و رشد تعداد کانتینر، به پیش بینی حجم تعداد کانتینر تخلیه و بارگیری شده در کره جنوبی پرداخته است. حجم تعداد کانتینر وارداتی و صادراتی در بنادر اصلی کره جنوبی به اندازه ۱٪ تولید ناخالص آن کشور می باشد [۳].

کووان و همکاران در مقاله خود یک استراتژی رقابتی برای افزایش تعداد کانتینر در ترمینالهای کانتینری بنادر کره جنوبی در مقایسه با بنادر کشورهای همسایه، ارائه داده است. آنها عوامل موثر در افزایش رقابتی ترمینال کانتینر را محل جغرافیایی بندر، تنوع و نوع خدمات ارائه کننده، توسعه پس کرانه های بندر، هزینه ها و سادگی فرایندها تعیین کرده اند [۴].

یون سو جین در مقاله خود کل کارهای ترمینالهای کانتینری را به سه بخش تقسیم کرده است: بخش حمل محموله های ورودی و خروجی یا دروازه های ورودی و خروجی بندر، بخش کارهای انجام شده در محوطه های کانتینر و مار شالینگ، و بخش تخلیه و بارگیری کانتینر. میزان ساعات کاری اشغال شده این سه بخش و به طور کلی میزان بهره وری آنها با میزان استفاده از تکنولوژی، تجهیزات و ماشین آلات جدید رابطه مستقیم دارد [۵].

داندوویک و همکاران در مقاله خود به تایید کارائی مدل سازی با استفاده از سیستم های پویا برای رفتارهای دینامیکی فرایند حمل و نقل و پیدا کردن جواب بهینه برای حمل و نقل کالا با در نظر گرفتن نوع کالا، حجم ترافیک کالا، جهت حرکت

^۱ -Cedomir Dundovic



کالا و فضای مورد نیاز و انبارداری پرداخته اند. در این مقاله اهداف به صورت چند بعدی در نظر گرفته شده و مدل‌های شبیه سازی به صورت کیفی و کمی و همچنین غیر خطی طراحی شده‌اند. نویسندگان سه زیرسیستم "رسیدن کشتی به اسکله"، "تخلیه و بارگیری کالا از کشتی به اسکله" و "حمل کالا از اسکله به واگن‌ها، کامیون‌ها و محوطه‌ها و انبارهای داخل بندر" را در مدل خود در نظر گرفته‌اند. نتایج مطالعات نشان داده است که مدیریت سیستم حمل و نقل کالا در بندر دارای اجزاء پیچیده زیادی می‌باشد و استفاده از سیستم‌های پویا می‌تواند اتفاقات را قبل از انجام در دنیای واقعی، با شبیه‌سازی تجزیه و تحلیل نماید [۶].

دور نیک و همکاران^۲ کارایی مدل‌های شبیه‌سازی با استفاده از پویایی سیستم را در محیط‌هایی که رفتارهای پویا دارند مانند سیستم حمل کالا در بندر نشان داده‌اند. تعیین سرعت روزانه تخلیه کالا از کشتی، تعداد کامیون‌های مورد نیاز روزانه و تعداد واگن‌های مورد نیاز روزانه جهت مدیریت بهینه انبار برای جلوگیری از انتظار در رسیدن کامیون، واگن و همچنین اجتناب از ایست کامل تخلیه کالا امکانپذیر می‌باشد [۷].

سوارس و همکاران^۳ (۲۰۱۳) براساس مطالعه ۱۸ ترمینال کانتینر در کشور برزیل، دو مدل برای ظرفیت ترمینال کانتینر و بهره‌وری در ترمینال کانتینری ارائه کرده‌اند. در مدل اول متغیرهای اصلی شامل تقاضای واقعی، تقاضای طرحریزی شده، ظرفیت طرحریزی شده و نرخ رشد ظرفیت سالیانه می‌باشد. مدل دوم دارای متغیرهای اصلی تعداد کانتینر نگهداری شده در ترمینال، ظرفیت دریافت و تحویل کانتینر، و متوسط زمان نگهداری کانتینر می‌باشد [۸].

جی تائو یائو و همکاران ارتباط بین سطح امنیت دریا و حجم کانتینر را مورد بررسی قرار دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که مباحثی مانند ارزیابی ظرفیت مورد نیاز با توجه به نوسانات حجم بار کانتینر، تحلیل روی داده‌های مالی بندر و مقایسه بلند مدت بندر با بندر رقیب، منجر به مطالعه اقتصادی امنیت بندر به روش کمی خواهد شد [۹].

دیکاس و همکاران یک مدل سیستم دینامیک برای خطوط نیور ارائه دادند. مطالعه آنها برای صنایع نفتی بوده است که بیشتر شرکتهای نفتی برای تامین تانکرهای مورد نیاز خود، از قراردادهای بلند مدت چارتر و یا مالکیت مستقیم کشتی‌ها استفاده می‌کنند [۱۰].

یینگ وانگ و همکاران یک مدل سیستم دینامیک برای پیش‌بینی حجم کانتینر ارائه کردند. آنها از مدل رگرسیون و مدل سیستم دینامیک استفاده کرده و نتیجه گرفتند که سیستم دینامیک روش دقیق و قدرتمندی برای پیش‌بینی است [۱۱].

عطا... و همکاران بر روی مدت زمان انتظار کشتی‌ها در اسکله‌های ترمینال کانتینری تمرکز کردند و سعی کردند تا مساله صف عملیات یدک‌کشی کشتی‌ها را به منظور کاهش زمان انتظار حل نمایند. آنها داده‌های خود را از بندر بزرگ مالزی جمع‌آوری کرده و سناریوهای مختلفی برای عملیات یدک‌کشی در نظر گرفتند [۱۲].

سپیر و همکاران برای حل مساله زمانبندی جرثقیل محوطه ترمینال کانتینری، روش‌های مختلف شاخه و حد را پیشنهاد کرده و اثر آن را بر روی عملکرد ترمینال کانتینر مطالعه نمودند. آنها یک روش تخمینی ارائه کردند که در زمان معقول، جواب‌های خوبی میدهد [۱۳].

^۲ Josko Dvor nik .et al.

^۳ Claudio J.M.Soaes et al.



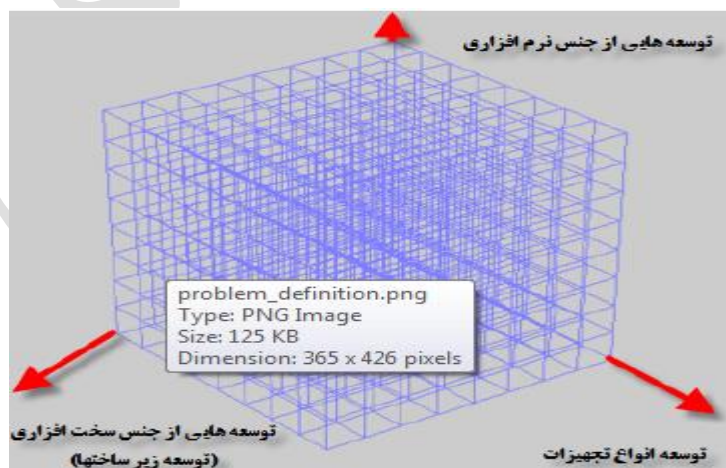
در سال ۲۰۱۶ یک مدل ریاضی برای تعیین انواع کانتینرهای حمل شده در هر اسکله با هدف حد اقل هزینه ارائه شد. محققان بندر ریجکا را برای تست مدل انتخاب کردند [۱۴].

پژوهش‌های اندکی با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها انجام شده است و ضروری است این مسئله مهم در کشور ایران با رویکرد سیستمی بررسی شده تا فرضیه‌های پویای علت به وجود آورنده مسئله، شناسایی و با هدف شبیه‌سازی سیاست‌های پیشنهادی، بتوان به بهبود رفتار پویای مسئله رسید [۱۵].

چنانچه در پیشینه تحقیق گفته شد، تحقیقات کمی برای مدلسازی بنادر با سیستم دینامیک انجام شده است و یا به طور مشخص یک قسمت از بندر مدلسازی شده است. در این مقاله هدف بر آن است که با دید جامع کل ترمینال کانتینر بندر شامل حوزه‌های مختلف عملیاتی از جمله سمت دریا، اسکله، ترمینال کانتینری، محوطه ترمینال، محوطه انبار موقت، محوطه انبار و دروازه‌های خروجی بندر در نظر گرفته شود.

۳- روش شناسی تحقیق

هدف از این تحقیق، ارائه روشی برای ارزیابی عملکرد ترمینال کانتینر بنادر میباشد. بندر دارای یک سیستم پویا با الگوی تصادفی و پیچیده است که از موجودیت‌های متعددی که دارای روابط پیچیده اند، تشکیل شده است. پیچیدگی بنادر، نیاز به خدمت‌دهی به کشتی‌های مدرن از جانب بندر و هزینه‌های بالای این صنعت نیاز به ابزاری انعطاف‌پذیر و پویا را ضروری می‌سازد. ابزار انتخابی باید بتواند مدیریت بنادر را در ارزیابی نیازهای آینده آن، برای رسیدن به عملکردی بهتر یاری نماید و همچنین با تعیین شاخص‌های بهره‌وری، امکان مقایسه آن‌ها با استانداردها یا دیگر بنادر دنیا امکان‌پذیر نماید. پویایی سیستم‌ها روشی برای مطالعه سیستم‌های پیچیده است که از حلقه‌های معنادار و بازخوردی تشکیل شده اند. از سیستم‌های پویا برای شناخت، درک و تجزیه و تحلیل رفتار و اجزای سیستم استفاده میشود تا امکان پیش‌بینی رفتارهای آینده به وجود آید. لذا میتوان با استفاده از سیستم‌های پویا ارتباطات ناشی از تعامل متغیرها را شناسایی نمود و سپس رفتار سیستم را در دوره‌های زمانی آینده مورد بررسی قرار داد [۱۶]. در این مقاله از روش پویایی سیستم استفاده میشود. در مدل پیشنهاد شده برای رسیدن به عملکرد مورد نیاز مدیران، می‌توان در سه محور توسعه‌های نرم‌افزاری، توسعه سخت‌افزاری و توسعه انواع تجهیزات به طور هماهنگ و اثربخش اقدام نمود.



شکل ۱- محورهای توسعه برای رسیدن به عملکرد مطلوب



چنانچه در شکل ۱ مشاهده می شود، برای دستیابی به عملکرد مورد نیاز انتخابهای متعددی وجود دارد. توسعه هایی از جنس نرم افزار که شامل کاهش زمان سرویس دهی به کشتی ها، تعداد نیروی انسانی بخش های مختلف بندر، زمانهای آماده سازی و سرویس دهی به کشتی ها میباشد. توسعه هایی از جنس سخت افزار مانند ایجاد یک اسکله جدید و یا توسعه پسکرانه ها و همچنین توسعه انواع تجهیزات مانند تعداد جرثقیل های کانتینری، تعداد کامیون های محوطه ای، تعداد یدک کشها و تعداد قایق های راهنما. برای رسیدن به عملکرد مورد نیاز مدیران بنادر، لازم است مصالحه ای کارا و اثر بخش بین محورهای توسعه ذکر شده در بخش های مختلف بندر انجام شود.

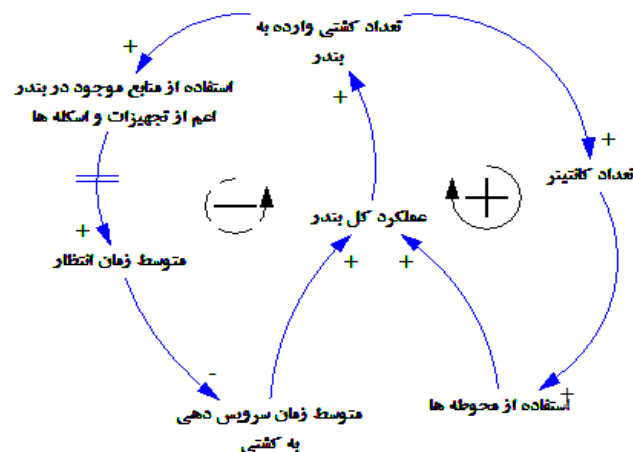
با ارائه مدل پیشنهادی و شبیه سازی ترمینال کانتینر با سیستم های پویا، میتوان قبل از اجرا در دنیای واقعی، تعامل محورهای مختلف توسعه را مورد بررسی و تحلیل قرار داد. در این مقاله سعی بر آن است تا با استفاده از مدل پویایی سیستم ترمینالهای کانتینری بنادر، با لحاظ کردن ساختارهای پایه ای برگرفته از مبانی موجود و ساختار ارتباطی قسمت های مختلف مدل، درصدد تحلیل و بررسی مدل به منظور مدیریت پیش دستانه تغییرات مورد نیاز احتمالی و یا میزان پاسخگویی به نیازهای فعلی برآید.

۴- مدل سازی، بررسی و تحلیل داده ها

بر اساس روش پویایی سیستمها، مدل های علت و معلولی بر اساس مشاهدات بر روی رفتار سیستم و نیز با الهام از نظریه های معتبر در حوزه مبانی نظری مسئله شکل می گیرد. در شکل شماره ۲ و شماره ۳ نمائی کلی از نمودار علی-معلولی در باره عملکرد یک ترمینال کانتینری ارائه شده است.

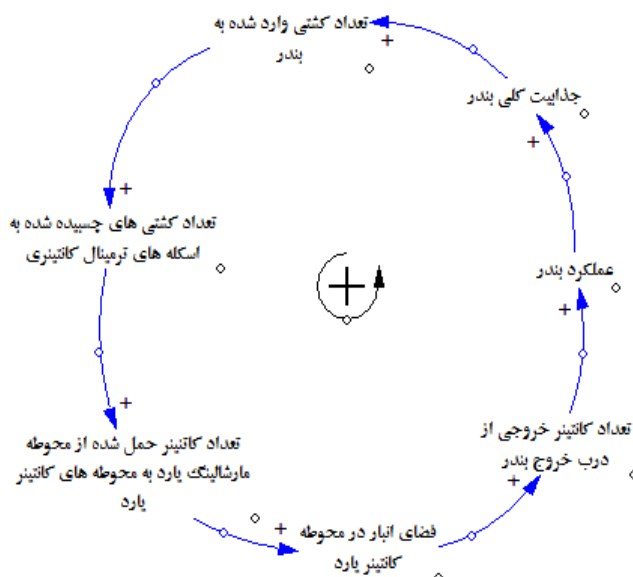
در شکل ۲ می توان دریافت که دو حلقه تقویت کننده اصلی تبیین کننده روابط پویای متغیرهای شناسایی شده است: در حلقه تضعیف کننده سمت چپ شکل وجود کشتی های وارده باعث افزایش استفاده از منابع موجود در بنادر اعم از تجهیزات و اسکله ها دریایی و خشکی خواهد شد و این به نوبه خود متوسط زمان انتظار کشتی ها را افزایش می دهد و همچنین متوسط زمان سرویس دهی به کشتی ها را نیز افزایش می دهد و بدین ترتیب این حلقه می تواند در کاهش عملکرد بندر نقش داشته باشد، بدیهی است تاثیر فوق پس از یک تاخیر زمانی اتفاق خواهد افتاد.

در حلقه تقویت کننده سمت راست شکل ۲ تعداد کشتی وارده باعث افزایش تعداد کانتینر خواهد شد و در نتیجه افزایش استفاده از منابع بنادر را در بر خواهد داشت و در نهایت باعث افزایش عملکرد بندر می شود.





شکل ۲: نمودار علی-معلولی عملکرد ترمینال کانتینری



شکل ۳: نمودار علی-معلولی جذابیت ترمینال کانتینری

در شکل ۳ یک حلقه تقویت کننده نمایش داده شده است که تعداد کشتی وارد باعث افزایش تعداد کشتی پهلو داده شده و همچنین تعداد کانتینر وارد به محوطه های وارداتی بندر می شود و این امر به نوبه خود باعث پر شدن فضای انبارها و تعداد کانتینرها و به طور کلی باعث افزایش عملکرد بندر و همچنین بالابردن جذابیت کلی بندر برای جذب مشتریان یا همان کشتی های وارد می شود.

۴-۱- ارائه و تشریح مدل حالت و جریان

هدف اصلی نمودار جریان، بازنمایی ساختار جریانی دقیق سیستم در قالب ساختار سیاست های ظریف و چرایی آن به منظور تسهیل ایجاد مدل ریاضی برای شبیه سازی است [۱۷]. نمودار حالت -جریان هر یک از متغیرها با توجه به مبانی نظری مرور شده در پژوهش و مطالعات جامع انجام شده و مصاحبه به خبرگان ترسیم شد. در مدل پیشنهادی، کل ترمینال کانتینر به پنج بخش به شرح زیر تقسیم شده است:

۱- بخش دریا: وظیفه این زیرسیستم انتقال کشتی های وارد به لنگرگاه بوسیله شناورهای یدک کش و راهنما به بندر و پهلو دهی کنار اسکله و همچنین جدا سازی کشتی و راهنمایی آن با شناورهای یدک کش و کشتی راهنما تا لنگر گاه می باشد.

۲- بخش حمل و نقل و نگهداری موقت کانتینر: این زیر سیستم مربوط به زمانی است که کشتی به اسکله پهلو دهی شده است و تجهیزات اسکله ها که مهمترین آنها جرثقیل گنتری است برای تخلیه هر کانتینر در دسترس باشد. هر کانتینر توسط جرثقیل گنتری بر روی یک کامیون محوطه ای قرار داده شده و به محوطه موقت نگهداری کانتینر یا مارشالینگ یارد انتقال داده می شود و سپس توسط جرثقیل های محوطه کانتینر صفافی و روی هم چیده می شود. حداکثر ماندگاری هر کانتینر در این محوطه موقت پنج روز می باشد



۳- بخش حمل کانتینر از محوطه موقت به محوطه اختصاصی کانتینر (کانتینر یارد): وظیفه این زیر سیستم حمل کانتینر از مارشالینگ یارد یا همان محوطه موقتی نگهداری کانتینر، به محوطه اختصاصی کانتینر می باشد. با استفاده از جرثقیل های محوطه و کامیون های محوطه تمامی کانتینرها از محوطه های بافر و موقتی که همجوار اسکله می باشند، به محوطه های اختصاصی ترمینال کانتینر انتقال می یابند. در این بخش تعداد کامیون ها و تعداد جرثقیل های محوطه و بهره وری مناسب آنها می تواند نقش به سزایی در تسریع فرایند تخلیه و بارگیری ایفا نماید.

۴- زیر سیستم تخصیص فضا به چیدن کانتینر در محوطه کانتینری: در این زیر سیستم پس از حمل کانتینرها از محوطه موقت نگهداری کانتینر به محوطه کانتینری، کانتینرها در این محل می توانند بیش از پنج روز در بندر روی هم چیده شوند تا فرایند گمرک و سایر فعالیتهای قانونی و لازم برای ترخیص کانتینرها مهیا شود.

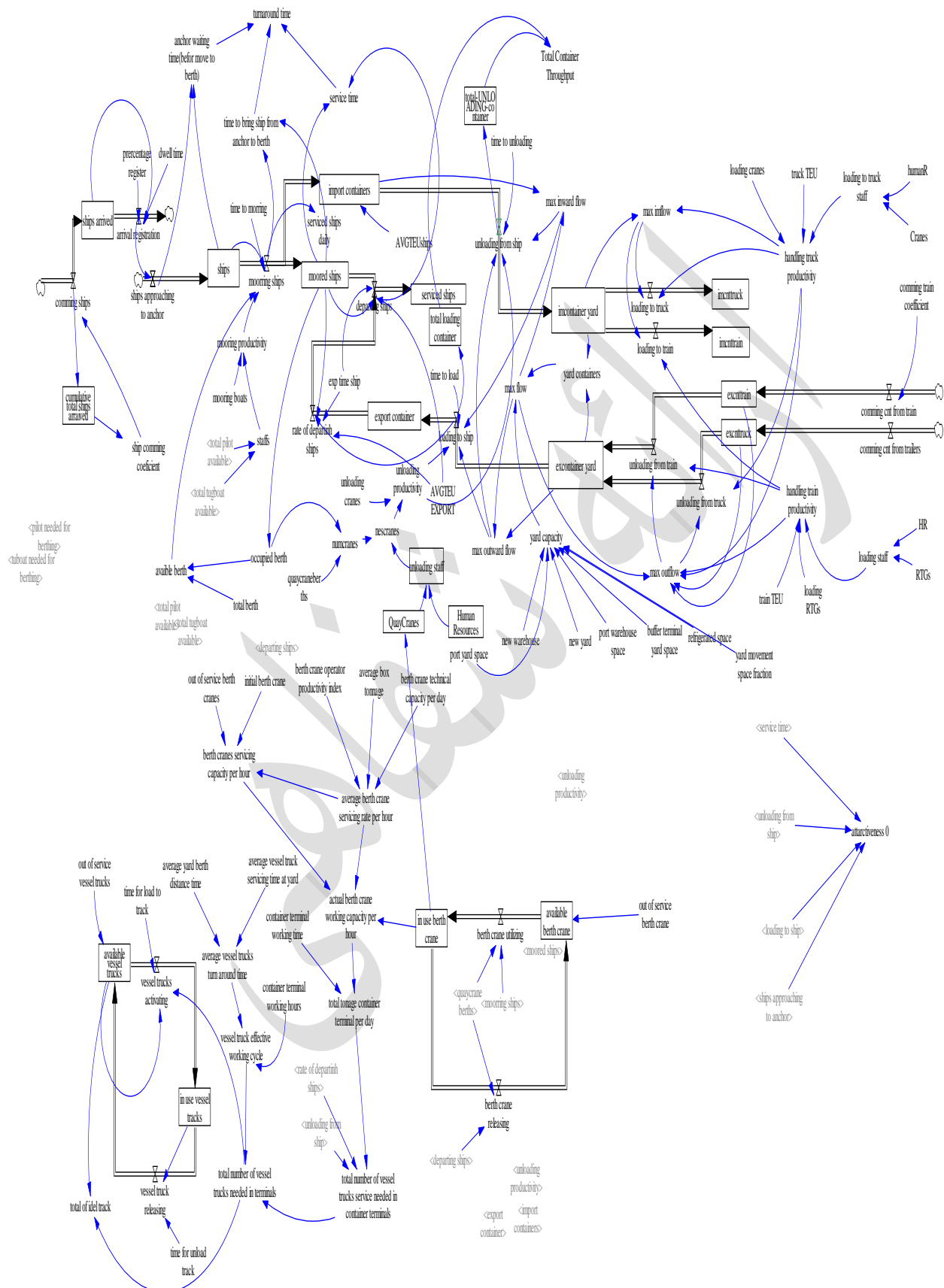
۵- زیر سیستم حمل کانتینر به خارج از بندر و یا به داخل بندر: وظیفه زیر سیستم فوق، انتقال کانتینرها از محوطه های کانتینری به درب خروج یا خارج از بندر برای کانتینرهای وارداتی یا بالعکس برای کانتینرهای صادراتی، توسط کامیون های جاده ای و واگن های قطار می باشد. برای انجام این امر از جرثقیل های محوطه کانتینری مجدداً برای انتقال کانتینر از محوطه بر روی کامیون یا واگن های قطار (یا بالعکس) به منظور صادرات، واردات، ترانSHIP و ترانزیت به خارج از بندر و سایر شهرها استفاده می شود.

مدل حالت - جریان محوری ترین بخش یک شبیه سازی است که پس از برآورد پارامترها، اجرا شده و مبنای تحلیل سیاستها و سناریوهای پیشنهادی قرار خواهد گرفت. بدین منظوری بایست متغیرهای حالت، جریان و متغیرهای کمکی مورد نیاز برای طراحی مدل جریان مشخص شود. قابلیت مدل جریان منوط به وجود داده ها در مورد پارامترها، نرخ ها، مقادیر اولیه متغیرهای حالت و برخی متغیرهای کمکی و یا حداقل برآورد آن است. نمودار کامل حالت - جریان عملکرد یک ترمینال کانتینر بندر در شکل ۴ نمایش داده شده است.



The First National Conference of The Iranian System Dynamics Society

اولین کنفرانس ملی
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها





شکل ۴: نمودار حالت - جریان عملکرد ترمینال کانتینر در بندر

۴-۲- معرفی متغیرها و معادلات حاکم بر مدل

داده‌های مورد نیاز مدل از سامانه ترمینال کانتینر بندر شهید رجایی، فصل نامه‌ها و خبرگان سازمان بندر و دریانوردی جمع‌آوری شده‌اند. از آنجا که مدل با جزئیات بالایی تهیه شده است و تعداد ورودی‌ها، متغیرها و معادلات دینامیکی زیاد است، در جدول ۱ به برخی از متغیرها و معادلات مهم مدل پرداخته شده است.

جدول ۱- برخی از متغیرهای مدل

متغیر به کار رفته در مدل	معادله یا مقدار	واحد	توضیحات
coming ships	INTEGER(RANDOM POISSON(0,4,3.5,0,1,ship coming coefficient((روز/کشتی	تابع توزیع پواسون برای کشتی‌های ورودی با میانگین ۳ کشتی در روز
ships arrived	coming ships-arrival registration	کشتی	تعداد کشتی متقاضی ورود به لنگرگاه
arrival registration	ships arrived*percentage register/dwell time	روز/کشتی	نرخ تقاضای ثبت ورود روزانه کشتی به لنگرگاه
ships	ships approaching to anchor- mooring ships	کشتی	تعداد کشتی وارده به بندر
mooring ships	IF THEN ELSE(ships>=0:AND: available berth>0, (MIN(mooring productivity, MIN(ships/time to mooring, available berth))) , 0)	روز/کشتی	تعداد کشتی پهلو داده شده به اسکله‌ها در روز
service time	IF THEN ELSE(departing ships<>0, (moored ships/departing ships), 0)	روز	زمان سرویس دهی به کشتی‌ها در کنار اسکله



توضیحات	واحد	معادله یا مقدار	متغیر به کاررفته در مدل
نرخ تخلیه کانتینر از کشتی	روز / کانتینر	IF THEN ELSE(max inward flow<= (unloading productivity), max inward flow/time to unloading, IF THEN ELSE(max outward flow >= (unloading productivity), (unloading productivity)/time to unloading, (unloading productivity-max outward flow)/time to unloading))	Unloading from ship
تعداد جرثقیل کانتینری (گنتری کرین) در دسترس	تعداد جرثقیل کانتینری	berth crane utilizing-berth crane releasing	In use berth crane
تعداد کامیون محوطه ای در دسترس	تعداد کامیون محوطه	vessel trucks activating-vessel truck releasing	In use vessel tracks
درصد جذابیت بندر بین بنادر منطقه	بدون واحد	IF THEN ELSE(service time>=0.5, (((1/service time)+((loading to ship + unloading from ship)/21917)+(ships approaching to anchor/22))/3)*100 , 0)	attractiveness



متغیر به کاررفته در مدل	معادله یا مقدار	واحد	توضیحات
total pilot available	$-\text{departure pilots} + \text{pilot daily service capacity} - \text{berthing pilots} - \text{pilot unused capacity}$	تعداد قایق راهنما	تعداد قایق راهنما در دسترس
total tugboat available	$\text{tugboat daily service capacity} - \text{berthing tugboat} - \text{departure tugboat} - \text{tugboat-tugboat unused capacity}$	تعداد یدک کش	تعداد یدک کش در دسترس
berthing tugboat	$\text{moored ships} * \text{"ship/tugboat ratio"}$	روز / یدک کش	تعداد یدک کشی که در حال جسباندن و آوردن کشتی به اسکله‌ها می‌باشند
departure tugboat	$\text{departing ships} * \text{"ship/tugboat ratio"}$	روز / یدک کش	تعداد یدک کشی که در حال جدا سازی کشتی از اسکله و خارج نمودن کشتی از بندر می‌باشند

۳-۴- اعتبار سنجی مدل

برای تعیین اعتبار مدل از روشهای مختلفی به شرح ذیل استفاده شد. آزمون سازگاری ابعادی^۴: این آزمون پاسخ به این سوال است که "آیا ابعاد متغیرها در همه معادلات در دو سمت معادله، در حالت موازنه قرار دارد؟" به منظور پاسخ به این سوال از گزینه موجود در نرم افزار برای اجرای آزمون سلامت مدل استفاده شده که با توجه به پاسخ مثبت نرم افزار، آزمون سازگاری ابعاد مدل تأیید شد. آزمون حدی: اگر متوسط تعداد کشتی های وارده در مدل برابر صفر شود، متغیرهای تاثیر پذیر مانند نرخ تخلیه یا نرخ بارگیری کانتینر، زمان سرویس دهی به کشتی ها، تعداد اسکله اشغالی صفر می شوند و از طرف دیگر اگر متوسط ورود کشتی ها نیز افزایش یابد، متغیرهای تاثیر پذیر مانند نرخ تخلیه یا نرخ بارگیری کانتینر، زمان سرویس دهی به کشتی ها، تعداد اسکله اشغالی افزایش یافته و پس از آن ثابت باقی می ماند و در لنگرگاه صف کشتی به وجود می آید. آزمون تایید پارامتر^۵: از بعد عددی تناقضی در صورت بندی مدل مشاهده نشد و از کارشناسان مدیریتی و افراد خبره حوزه سازمان بندر و دریانوردی در تأیید نهایی موفقیت مدل پویا استفاده شده و طبق نظر آنها پارامترهای مدل مورد تأیید بوده است [۱۸].

آزمون شبیه سازی با داده های تاریخی: مدل برای سالهای ۱۳۸۴-۱۳۹۴ توسط نرم افزار ونسیم^۶ اجرا شده است، در مدل پیشنهادی دو متغیر کلیدی "تعداد کل کانتینرهای تخلیه/بارگیری شده" و "کل زمان کشتی" در نظر گرفته

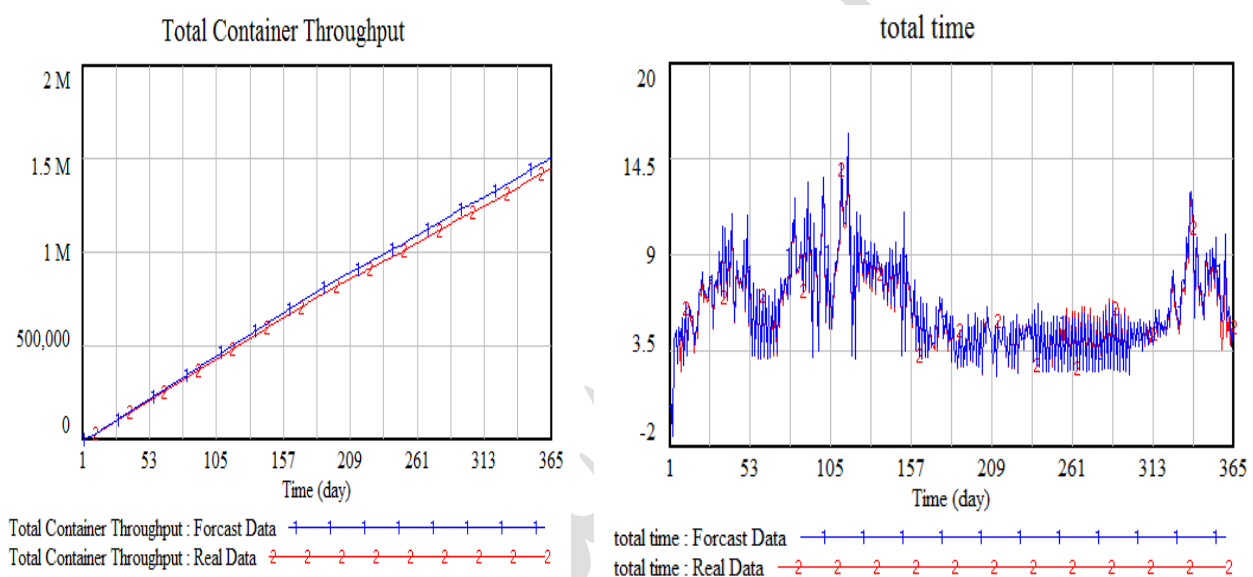
^۴ Dimentional Consistency Test

^۵ Parameter Verification Test

^۶ Vensim



شد. منظور از "کل زمان کشتی" از زمان ورود کشتی به لنگرگاه تا خروج کشتی از بندر می باشد. در اشکال ۵ و ۶ مقایسه بین اعداد داده های تاریخی و خروجی مدل شبیه سازی به تصویر کشیده شده است. براساس مطالعه سریانی اگر نرخ خطای متغیرهای کلیدی مدل شبیه سازی پیشنهادی با عملکرد واقعی کمتر از ۵ درصد باشد، اعتبار مدل مورد تأیید قرار می گیرد [۱۹]. در محاسبات انجام شده بر روی این دو متغیر کلیدی، نرخ خطای محاسبه شده متغیر "تعداد کل کانتینرهای تخلیه/بارگیری شده" حدود ۰/۰۴۱ و همچنین، نرخ خطای محاسبه شده متغیر "زمان کل کشتی" ۰/۰۳۶ می باشد. با توجه به منبع ذکر شده این اعداد هر کدام کمتر از ۵ درصد می باشند و می توان به این نتیجه رسید که از منظر مقایسه با عملکرد دنیای واقعی نیز مدل پیشنهادی مورد تأیید است.



شکل ۶- مقایسه داده های تاریخی و شبیه سازی کل زمان کشتی
شکل ۵- مقایسه داده های تاریخی و شبیه سازی تعداد کل کانتینر تخلیه و بارگیری شده

۴-۴- شبیه سازی و ارزیابی سیاستها

در این بخش سیاستهای مختلفی برای بهبود عملکرد ترمینال کانتینری بندر شهید رجائی ارائه شده است که نتایج اعمال این سیاستها تحلیل و بررسی شده است. برای طراحی سیاستها ابتدا نقاط اهرمی مسئله شناسائی شده که باتوجه به مدل پیشنهادی در قالب جدول شماره ۲ به صورت سه سناریو، به شرح ذیل می باشد.



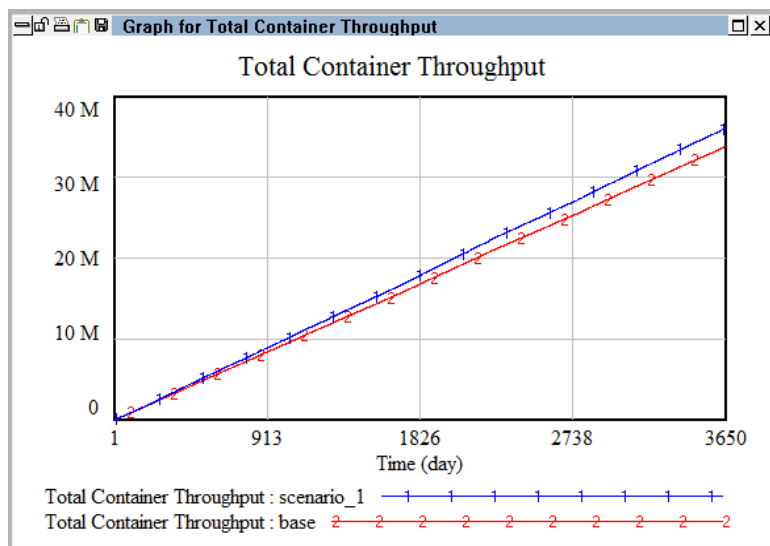
جدول ۲- اطلاعات مدل پایه و سناریوهای بررسی شده

مدل پایه	سناریو شماره ۱	سناریو شماره ۲	سناریو شماره ۳	
۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	تعداد کل گنتری کرین
۷	۷	۸	۸	تعداد اسکله (کانتینری)
۲/۸	۴	۴	۴	میانگین ورود (کشتی در روز)
۲ دستگاه	۳ دستگاه	۲ دستگاه	۳ دستگاه	تعداد گنتری کرین فعال روی هر اسکله

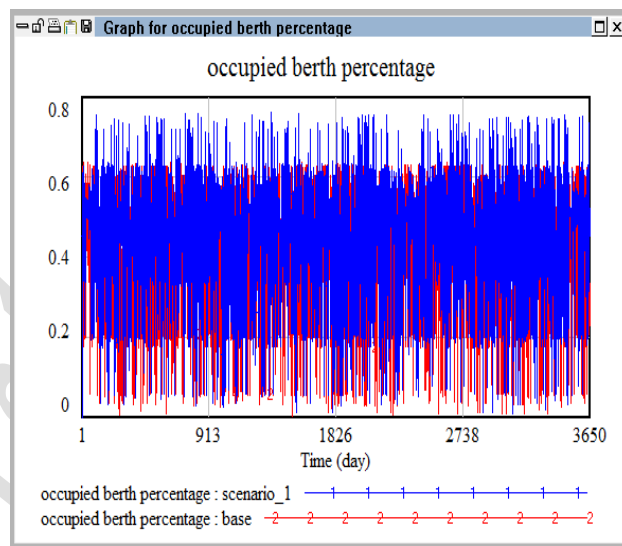
جدول ۳- نتایج سناریوهای بررسی شده

عملکرد	مدل پایه	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳
تعداد کل کانتینر تخلیه و بارگیری شده در طی ده سال	۳۲۰۰۰۰۰	۳۶۰۰۰۰۰	۳۳۵۰۰۰۰	۴۴۰۰۰۰۰
متوسط حضور کشتی (از زمان ورود به لنگرگاه تا خروج از بندر)	۴/۶ روز	۳/۲ روز	۲/۹ روز	۲/۵ روز
درصد اشغال اسکله ها	۶۶٪	۷۲٪	۷۳٪	۸۲٪

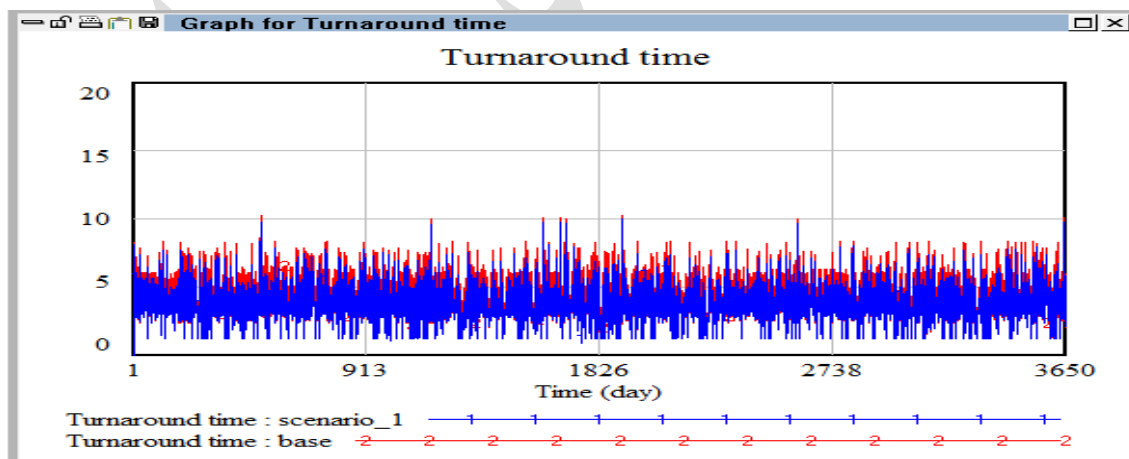
سناریو ۱. در این سناریو که توسعه بندر از نوع نرم افزاری محسوب شود، تعداد گنتری کرین های روی هر اسکله به جای دو دستگاه به سه دستگاه افزایش داده شده است. قابل ذکر است که تعداد کل گنتری کرین های ترمینال کانتینر ثابت است و با حرکت گنتری ها روی ریل می توان تعداد آنها را روی هر اسکله تغییر داد. شکل ۷ نمایانگر آن است که درصد اشغال اسکله ۶٪ افزایش می یابد و شکل ۸ نمایانگر آن است که تعداد کل کانتینر جابه جا شده در طی ده سال از ۳۲ میلیون باکس به حدود ۳۶ میلیون باکس افزایش می یابد، در حالی که متوسط زمان کل حضور کشتی ها در بندر نیز مطابق شکل ۹ از ۴/۶ روز به ۳/۲ روز کاهش یافته است.



شکل ۸- تعداد کل کانتینر تخلیه/بارگیری شده در سناریو ۱ و مدل پایه

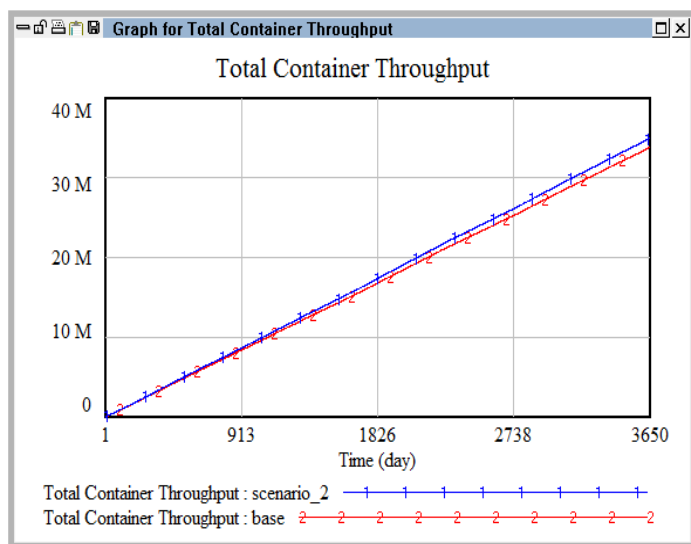


شکل ۷- تعداد اسکله اشغال شده در سناریو ۱ و مدل پایه

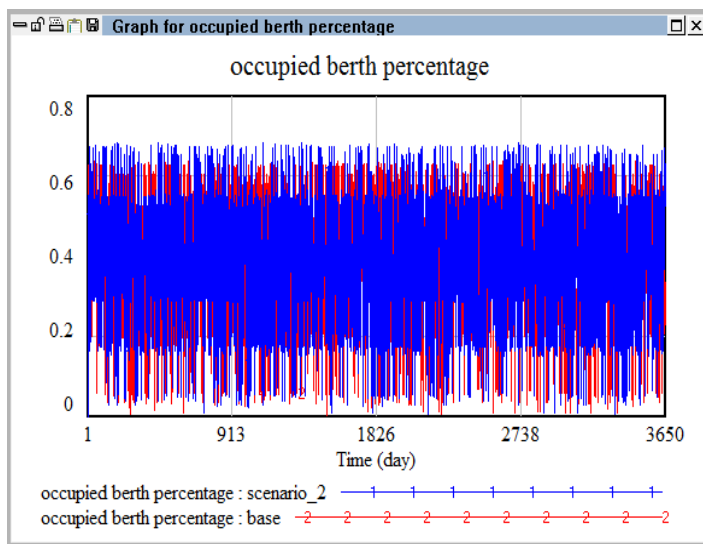


شکل ۹- زمان کل حضور کشتی از لنگرگاه تا خروج از بندر در سناریو ۱ و مدل پایه

سناریو ۲. در این سناریو که از نوع سخت افزاری می باشد، تعداد اسکله ها یک اسکله اضافه شده و از ۷ اسکله به ۸ اسکله رسیده است. چنانچه در اشکال شماره ۱۰ الی ۱۲ نشان داده شده است، ضریب اشغال اسکله ها به طور متوسط ۷٪ افزایش، تعداد کل کانتینر تخلیه و بارگیری شده در طول ده سال حدود یک و نیم میلیون باکس افزایش و کل زمان حضور کشتی در بندر به طور متوسط به ۲/۹ روز کاهش یافته است.



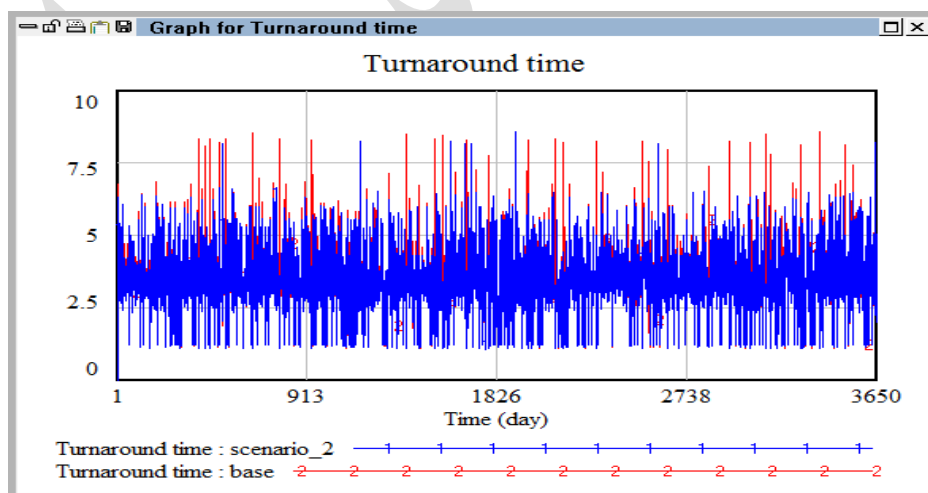
شکل ۱۱ - تعداد کل کانتینر بارگیری/تخلیه شده در سناریو



شکل ۱۰ - تعداد اسکله اشغال شده در سناریو ۲ و مدل پایه

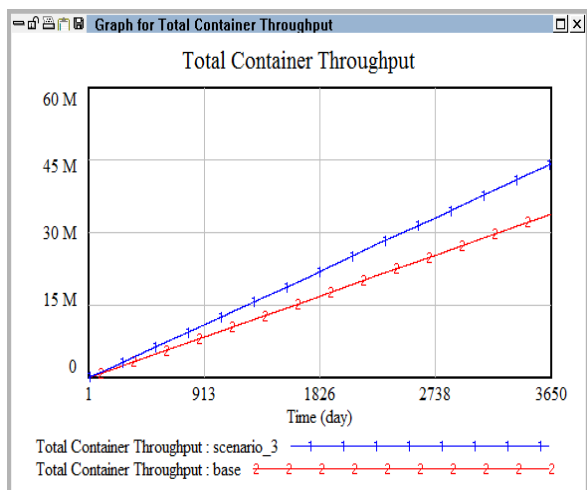
۲ و مدل پایه

۱۲- زمان کل حضور کشتی از لنگرگاه تا خروج از بندر در سناریو ۲

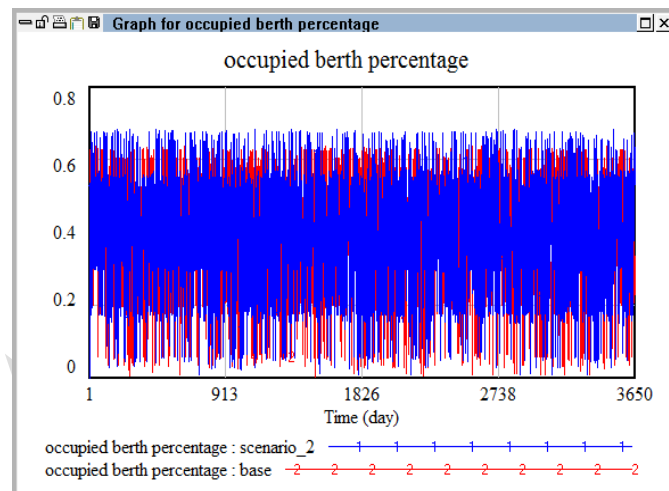




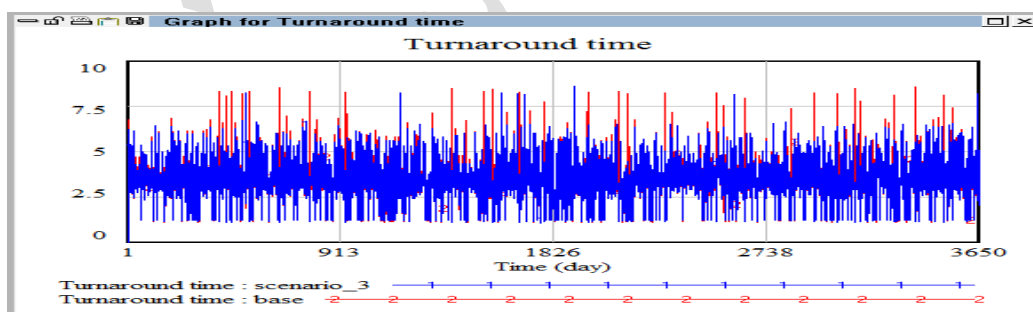
سناریو شماره ۳. این سناریو یک سناریو ترکیبی از سناریو ۱ و سناریو ۲ می باشد بدین معنی که تعداد اسکله ها از ۷ اسکله به ۸ اسکله و تعداد گنتری کرین روی هر اسکله نیز از تعداد ۲ دستگاه به تعداد ۳ دستگاه تغییر داده شده است. همانطور که از اشکال ۱۳ الی ۱۵ ملاحظه می شود، تعداد کل کانتینر تخلیه و بارگیری شده از ۳۲ میلیون باکس به ۴۴ میلیون افزایش، اشغال اسکله ها ۱۶٪ افزایش و زمان کل حضور کشتی در بندر نیز به طور متوسط به ۲/۵ روز تقلیل یافته است.



شکل ۱۴ - تعداد کل کانتینر بارگیری/تخلیه شده در سناریو ۳



شکل ۱۳- درصد اشغال اسکله در سناریو ۳



شکل ۱۵ - زمان کل حضور کشتی از لنگرگاه تا خروج از بندر در سناریو ۳

۵- نتیجه گیری و پیشنهاد برای تحقیقات آینده

بنادر دارای یک سیستم پویا با الگوی تصادفی و پیچیده هستند که از موجودیت های متعددی که دارای روابط پیچیده اند، تشکیل شده است. در این مقاله یک مدل پویایی سیستم برای عملکرد ترمینال کانتینر بنادر ارائه شده است. مدل پیشنهادی، کمک می نماید که مدیران، از پیامدها و نتایج تصمیمات خود قبل از اجرا در دنیای واقعی تصویر روشنی داشته باشند و سیاستهای مختلف را مورد بررسی و تحلیل قرار دهند.

در این مقاله سه سناریو مورد بررسی قرار گرفته و نتایج هریک از نظر شاخصهای تعداد تخلیه و بارگیری ترمینال کانتینر، زمان کل کشتی در بندر و درصد اشغال اسکله نشان داده شده است. در سناریوی اول که نیاز به هزینه سرمایه گذاری ندارد و میتوان با حرکت جرثقیل ها بر روی ریل، آنها را به اسکله ها اختصاص داد، می توان دید که با افزایش ۱ دستگاه گنتری کرین



در اسکله، تعداد کل تخلیه و بارگیری ۱۲/۵٪ افزایش و متوسط زمان کشتی ۳۰٪ کاهش و درصد اشغال اسکله ۶٪ افزایش می‌یابد. در سناریوی دوم، با سرمایه گذاری وساخت یک اسکله تعداد کل تخلیه/بارگیری ۴٪ افزایش، متوسط زمان کشتی ۳۷٪ کاهش و درصد اشغال اسکله ۷٪ افزایش می‌یابد. در سناریوی سوم، با ساخت ۱ اسکله و همچنین افزایش یک دستگاه گنتری کرین تعداد کل تخلیه/بارگیری ۳۷٪ افزایش، زمان کشتی ۴۵٪ کاهش و درصد اشغال اسکله ۱۶٪ افزایش می‌یابد. لذا در شرایط رقابتی برای بندر که حجم تخلیه و بارگیری مهم است، بدون صرف هزینه میتوان با استفاده از سناریوی اول حجم تخلیه و بارگیری را به میزان قابل قبول برای سازمان بنادر افزایش داد. با صرف هزینه و ساخت ۱ اسکله جدید، سازمان بنادر می‌تواند حجم راتا ۳۷٪ افزایش دهد.

در تحقیقات آینده میتوان در مدل داده های مالی و مربوط به هزینه را وارد نمود و سناریوهای مختلف را با دید هزینه نیز بررسی نمود.

۶- قدردانی

نگارندگان مقاله از همکاری سازمان بنادر و دریانوردی برای انجام این تحقیق تشکر مینمایند. این مقاله با حمایت علمی و مادی سازمان بنادر و دریانوردی به انجام رسیده است.



مراجع:

- [1] Lattila, L., & Saranen, J (2011)., **Multimodal Transportation Risk in Gulf of Finland Region**. World Review of Intermodal Transportation Research: Vol. 3, No. 4,376-394.
- [2] Branch, A,E.(1968), **Element of port Operation and Managment**. Chapman & Hall,. New York, NY.: 254-290
- [3] Jang, BG. Yang, HJ (2005).**Estimation of port Traffic in Korea**. Journal of Korea Port Economic Association: Vol 21(4), pp 255-274.
- [4] Kwon, N.J., Ahn, G.M (2002).. "A practical study on competitiveness Enhancement Strategy of container Terminal in Busan Port". Marine Korea: 90-98.
- [5] Yoon, Sun Jin.(2007) ,**A study on System Dynamics Modeling to Strengthen the Competitiveness of a Container Terminal**. International Conference on Computer Engineering and Application. Gold Cost Australia: Korea System Dynamics Research,. 372.
- [6] Dundovic, C., Bilic, M., & Dvornik, J.(2009) **Contribution to the Development of a Simulation Model for a Seaport in Specific Operating Conditions**. Promet – Traffic&Transportation,,: Vol. 21, 331-340.
- [7] Dvornik, J., Munitic, A., & Bilic, M (2006). **Simulation Modelling and Heuristics Optimization of Material Flow of the Port Cargo System**. Promet-Traffic&Transportation, 2006: Vol.18,123-135.
- [8] Cláudio J. M. Soares and Hostilio Xavier Ratton Neto (2013) ., **A Model for Predictable Capacity of a Container Terminal State: A System Dynamics Approach**. Journal of Traffic and Transportation Engineering,141-154.
- [9] Gi-Tae Yeo, Ji-Yeong Pak, Zaili Yang (2013), **Analysis of dynamic effects on seaports adopting port security policy**. Transportation Research Part A, 285-301.
- [10] Dikos, G., Marcus, H. S., Papadatos, P. M. and Papakonstantinou, V., Niver Lines(2006) : **A System-Dynamic Approach to Tanker Freight Modeling**.,Interfaces 36 (4), 326-341.
- [11] Ying Wang, Chein-Chang and Gi-Tea Yeo(2013). **Application and Improvement of s system Dynamics Model to forecast the Volume of Containers**. Journal of Applied Science and Engineering Vol. 16,No2: 187-196.
- [12] Ataollah Shahpanah, Ahmad Asl Hashemi, Seyed Mojib Zahraee, Syed Ahmad Helm.(2014), **Reduction of Ship Waiting Time at Port Container Terminal Through Enhancement of the Tug/Pilot Machine Operation**. The journal of Teknologi, 68(3):63-66.
- [13] Ulf Speer, Kathrin Fischer(2016),. **Scheduling of Different Automated Yard Crane Systems at Container Terminals**. Transportation Sciences , 2016,26-41



- [14] MIA JURJEVIĆ, SVJETLANA HESS (2016), **THE OPERATIONAL PLANNING MODEL OF TRANSHIPMENT**. Science in Traffic and Transport, Vol. 28(2), 81-89.
- [15] Rabieh M., Karami MM., Ziaee M., yasobi A., Salari H.(2016), **Dynamic Analysis of Traffic-Injury Problem in Iran: System Dynamics approach**, Modern Researches in Decision Making,1, 71-99.
- [16] Hamidizadeh MR (1394),**System Dynamics**, Shahid Beheshti University,Iran, 1394,30
- [17] Ahmadvand A, Mohammadiani Z, Khodadadi H(2015), **Sustainable Urban Transportation System Dynamic Modeling for Traffic Improvement**, Management Reserch in Iran, 9,2015,31-52
- [18] Sterman, J.D. (2000). **Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world**. McGraw-Hill, Boston.
- [19] Suryani. E., Chou, S.H., Chen, C.H.,(2010). **Air passenger demand forecasting and passenger terminal capacity expansion: a system dynamics framework**. Expert System with Application, 37, 2324-2339.



Abstract

Due to the nature of the causal maritime transport sector and interaction of variables in this section as well as the complexities, System dynamics (SD) approach is used to measure and forecast port performance. This paper concerns the performance in terms of the number of container loading and unloading of container terminal, ship turnaround time in port and berth occupied percentage. Historical data of Shahid Rajae from 1384 to 1394 is used to valid proposed model. The results of simulation show that by increasing one more gantry crane, the container throughput increase 12/5% and the average service time decrease about 30%. By investing and developing one berth more, the throughput increase 4% and average service time decrease about 37%. Whereas by increasing one more gantry crane and berth, the throughput increase 37% and average service time decrease about 45%. The proposed model can help port managers to see the effects of their decisions on future port performance and design policies that lead to desired consequences.

Key Words: System Dynamics, Performance, Container Terminal, Forecast, Shahid Rajae Port