پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره ۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶

ارائه مدلی برای پیش‌بینی عملکرد پایانه کانتینر در بنادر با رویکرد پویایی سیستم

وحید حیدرپور[۱]، مصطفی زندیه[۲*]، حسن فارسیجانی[۳]، مسعود ربیعه[۴]

۱- دانشجوی 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.

دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۲۱ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۲۰

چکیده

با توجه به ماهیت علت و معلولی بخش حمل‌ونقل دریایی و تأثیر متقابل متغیرها در این بخش و نیز پیچیدگی‌های حاکم برآن لازم است تا به کمک ابزارهایی، سیاست‌های اتخاذ شده در این بخش مورد آزمون قرارگیرد. دغدغه مورد نظر در این مقاله پیش‌بینی 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 می‌باشد. در این تحقیق، مدل پویای عملکرد ترمینال کانتینر بنادر، با استفاده ازروش پویای سیستم‌ها ارائه شده است. اعتبار مدل پیشنهادی با استفاده از داده‌های تاریخی ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۴ بندر شهید رجایی مورد تأیید قرارگرفته است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با افزایش ۱ دستگاه گنتری کرین تعداد کل کانتینرهای جابه جا شده ۱۲/۵٪ افزایش و متوسط زمان کشتی ۳۰٪ کاهش می‌یابد. با سرمایه گذاری وساخت یک اسکله تعداد کل تخلیه/ بارگیری ۴٪ افزایش و متوسط زمان کشتی ۳۷٪ کاهش می‌یابد. 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 می‌یابد. مدل پیشنهادی کمک می‌نماید که مدیران، از اثرات تصمیمات و سیاست‌های خود در طراحی و توسعه آینده ترمینال‌های کانتینری و نتایج آنها تصویر روشنی داشته باشند.

---

* نویسنده مسئول مقاله: E-mail: m_zandieh@sbu. ac. ir

کلید واژه‌ها: سیستم‌های پویا، عملکرد،ترمینال کانتینری، پیش‌بینی، بندر شهید رجایی.

۱- مقدمه

حمل‌ونقل دریایی نقش عمده‌ای در تجارت دریایی و رشد اقتصادی جهان دارد. بیش از ۹۰ درصد کالاهای جهان از طریق حمل‌ونقل دریایی جابه‌جا می‌شوند که این میزان به‌طور تخمینی ۹۹ درصد اقتصاد جهان را در بردارد [۱]. بنادر تجاری جهان در هر کشور به‌عنوان هسته فعالیت‌های تجاری می‌باشند که از آن شهرها و سرمایه‌های ملی و مناطق داخلی پر رونق پدید می‌آیند. هم زمان با رشد و توسعه سریع اقتصاد جهان، از سال ۱۹۶۰ میلادی، صنعت حمل‌ونقل جهان به سمت یک مد حمل‌ونقل به نام حمل‌ونقل کانتینر توسعه و گسترش پیدا کرده است. حمل‌ونقل کانتینری دارای مزایای زیادی از جمله ایمنی کالا، تسریع در حمل و همچنین باعث بهبود کارایی و کیفیت در صنعت حمل‌ونقل جهان شده است.

محققین در همه جای دنیا به فکر توسعه حمل‌ونقل کانتینری بوده و تمرکز بر روی تعداد کانتینر حمل‌ونقل شده در هر کشور به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم پیشرفت حمل‌ونقل آن کشور مطرح می‌باشد [۲]. بنابراین پیش‌بینی تعداد کانتینر برای اجرای سیاست‌های عملیاتی و توسعه امکانات بندر نقش حیاتی دارد. امروزه بنادر مدرن برای خوشه بندی بنادر براساس نوع کالای موجود در هر کانتینر، حمل سریع کالاهای کانتینر ودر نتیجه جذب کشتی‌های بزرگ مانند سوپر پاناماکس با مشکلات جدی در زمینه پیش‌بینی تعداد کانتینر با استفاده از روش‌های پیش‌بینی بر مبنای داده‌های تاریخی از جمله رگرسیون روبرو هستند. چرا که مدل‌هایی که صرفاً براساس داده‌های قدیمی پیش‌بینی می‌کنند، به خاطر عدم بررسی عواملی مانند شرایط ملی بندر، شرایط اقتصاد جهانی، سیاست‌های ملی از انعطاف‌پذیری و چابکی مورد نیاز مدل می‌کاهد. بنادر دارای سیستم‌های لجستیک پویا و پیچیده می‌باشند که از ارتباط عناصر بی‌شمار و تحت تأثیر عوامل تصادفی تشکیل شده‌اند.

بهره‌وری بنادر یک شرط مهم به‌منظور زنده ماندن دررقابت جهانی تجارت حمل‌ونقل می‌باشد. ایجاد زیر ساخت‌ها، تجهیزات و توسعه امکانات در بنادر برای اجرا و خرید بسیار گران می‌باشند، از این رو استفاده ناکارا از آنها باعث از دست

دادن سرمایه و افزایش هزینه‌های عملیاتی بنادر می‌گردد. بنابراین اهدافی مانند داشتن ترمینال کانتینری با توان عملیاتی بالا، نرخ بهره‌وری بالای تجهیزات، کاهش زمان‌های تخلیه و بارگیری، کاهش زمان معطلی کشتی‌ها، کاهش ترافیک و ازدحام کشتی و کامیون در ترمینال کانتینری و همچنین کاهش هزینه‌های سرمایه گذاری وعملیاتی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است.

هدف از این مقاله، ارائه مدل پویایی سیستم برای عملکرد ترمینال کانتینر دربنادر است. به‌گونه‌ای که نه تنها متغیرهای درونی، بلکه تأثیر محیط خارجی سیستم نیز بر روی مدل مورد بررسی مورد مطالعه قرار گرفته است.

هدف از پژوهش انجام شده، ارائه مدلی انعطاف‌پذیر و پویا برای پیش‌بینی دقیق‌تر عملکرد بنادر می‌باشد.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

توسعه امکانات صنعت لجستیک بندر براساس پیش‌بینی تعداد کانتینر تخلیه و بارگیری شده انجام میشود به عبارت دیگر پیش‌بینی حجم تعداد کانتینر تخلیه و بارگیری شده تأثیر بسیار زیادی در میزان توسعه بندر دارد. جانگ و همکاران با تأکید بر تحلیل ارتباط توسعه بندر و رشد تعداد کانتینر، به پیش‌بینی حجم تعداد کانتینر تخلیه و بارگیری شده در کره جنوبی پرداخته است. حجم تعداد کانتینر وارداتی و صادراتی در بنادر اصلی کره جنوبی به‌اندازه ۱٪ تولید ناخالص آن کشور می‌باشد [۳].

کووان و همکاران درمقاله 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 مؤثر در افزایش رقابتی ترمینال کانتینر را محل جغرافیایی بندر، تنوع و نوع خدمات ارائه کننده، توسعه پس کرانه‌های بندر، هزینه‌ها و سادگی فرایندها تعیین کرده‌اند [۴].

یون سو جین در مقاله خود کل کارهای ترمینال‌های کانتینری را به سه بخش تقسیم کرده است: بخش حمل محموله‌های ورودی و خروجی یا دروازه‌های ورودی

و خروجی بندر، بخش کارهای انجام شده در محوطه‌های کانتینر و مار شالینگ، و بخش تخلیه و بارگیری کانتینر. میزان ساعات کاری اشغال شده این سه بخش وبه‌طور کلی میزان بهره‌وری آنها با میزان استفاده از تکنولوژی، تجهیزات و ماشین آلات جدید رابطه مستقیم دارد [۵].

داندوویک و همکاران[۱] در مقاله خود به تأیید کارایی مدل سازی با استفاده از سیستم‌های پویا برای رفتارهای دینامیکی فرایند حمل‌ونقل و پیدا کردن جواب بهینه برای حمل‌ونقل کالا با در نظر گرفتن نوع کالا، حجم ترافیک کالا، جهت حرکت کالا و فضای مورد نیاز و انبارداری پرداخته‌اند. در این مقاله اهداف به صورت چند بعدی در نظر گرفته شده و مدل‌های شبیه‌سازی 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 درمدل‌خود در نظرگرفته‌اند. نتایج مطالعات نشان داده است که مدیریت سیستم حمل‌ونقل کالا در بنادر 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 وهمکاران[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 طرح ریزی 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 بندرو مقایسه بلند مدت بندر با بنادر 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].

بینگ 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].

عطاا... و همکاران برروی مدت زمان انتظار کشتی‌ها در اسکله‌های ترمینال کانتینری تمرکز کردند و سعی کردند تا مساله صف عملیات یدک کشی کشتی‌هارا به‌منظور کاهش زمان انتظار حل نمایند. آنها داده‌های خود را از بندر بزرگ مالزی جمع آوری کرده و سناریوهای مختلفی برای عملیات یدک کشی 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].

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

پژوهش‌های‌اندکی با رویکرد پویایی شناسی 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].

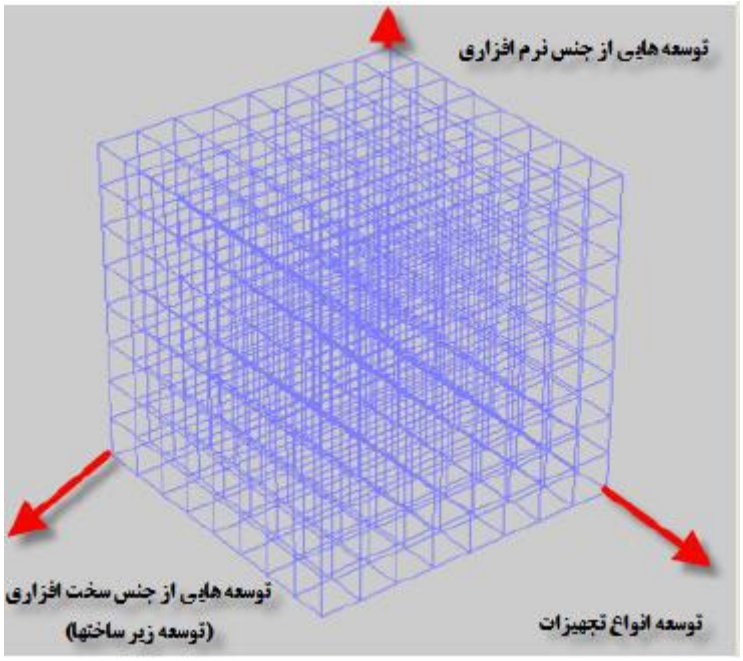
چنانچه در پیشینه تحقیق گفته شد، تحقیقات کمی برای مدلسازی بنادر با سیستم دینامیک انجام شده است ویا به‌طور مشخص یک قسمت از بندر مدلسازی شده است. در این مقاله هدف بر ان است که با دید جامع کل ترمینال کانتینر بندر شامل حوزه‌های مختلف عملیاتی از جمله سمت دریا، اسکله، ترمینال کانتینری، محوطه ترمینال، محوطه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

۳- تعریف مسئله

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 پیچیده‌اند، تشکیل شده است. پیچیدگی بنادر، نیاز به خدمت دهی به کشتی های مدرن از جانب بندر و هزینه های 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 شده‌اند. 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 نرم افزاری، توسعه سخت افزاری و توسعه انواع تجهیزات به‌طور هماهنگ و اثربخش اقدام نمود.



شکل ۱ محورهای توسعه برای رسیدن به عملکرد مطلوب

چنانچه در شکل ۱ مشاهده می‌شود، برای دستیابی به عملکرد مورد نیاز انتخاب‌های متعددی وجود دارد. توسعه‌هایی از جنس نرم افزارکه شامل کاهش زمان سرویس‌دهی به کشتی‌ها، تعداد نیروی انسانی بخش‌های مختلف بندر، زمان‌های آماده‌سازی و سرویس‌دهی به کشتی‌ها می‌باشد. توسعه‌هایی از جنس سخت افزار مانند ایجاد یک اسکله جدید و یا توسعه پسکرانه‌ها و همچنین توسعه انواع تجهیزات مانند تعداد جرثقیل‌های کانتینری، تعداد کامیون‌های محوطه‌ای، تعداد یدک‌کش‌ها و تعداد قایق‌های راهنمابر. برای رسیدن به عملکرد مورد نیاز مدیران بنادر، لازم است مصالحه‌ای کارا و اثر بخش بین محورهای توسعه ذکر شده در بخش‌های مختلف بندر انجام شود.

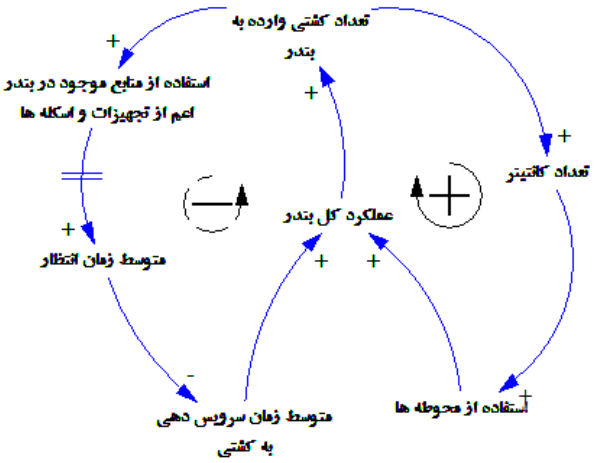
با ارائه مدل پیشنهادی و شبیه‌سازی ترمینال کانتینر با سیستم‌های پویا، میتوان قبل از اجرا در دنیای واقعی، تعامل محورهای مختلف توسعه را مورد بررسی و تحلیل قرار داد. در این مقاله سعی بر آن است تا با استفاده از مدل پویایی سیستم ترمینال‌های کانتینری بنادر، با لحاظ کردن ساختارهای پایه‌ای برگرفته از مبانی موجود و ساختار ارتباطی

قسمت‌های مختلف مدل، درصدد تحلیل و بررسی مدل به‌منظور مدیریت پیش‌دستانه تغییرات مورد نیاز احتمالی و یا میزان پاسخگویی به نیازهای فعلی برآید.

۴- ارائه مدل پیشنهادی

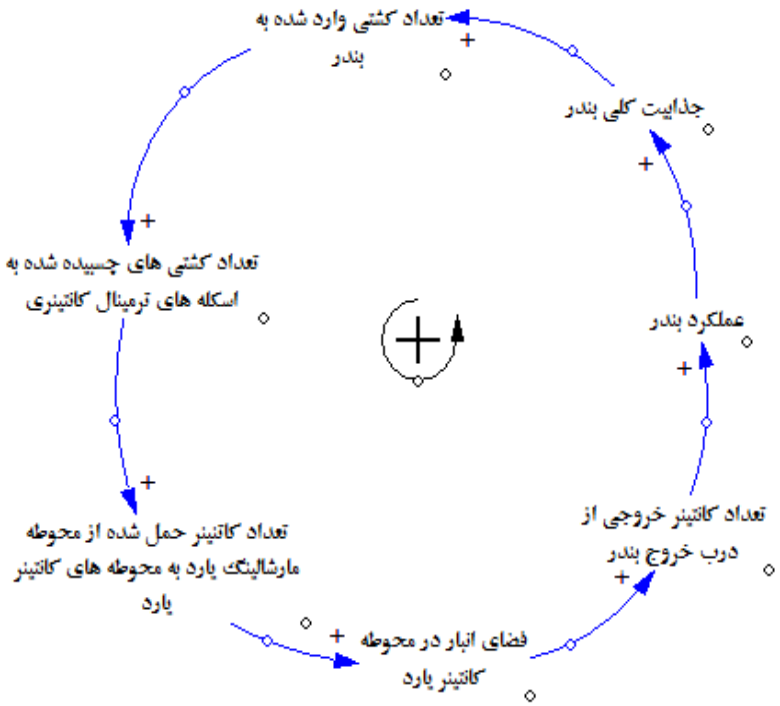
براساس روش پویایی سیستم‌ها، مدل‌های علت و معلولی براساس مشاهدات بر روی رفتار سیستم و نیز با الهام از نظریه‌های معتبر در حوزه مبانی نظری مسئله شکل می‌گیرد. در شکل شماره۲ و شماره ۳ نمائی کلی از نمودار علی-معلولی درباره عملکرد یک ترمینال کانتینری ارائه شده است.

در شکل ۲ می‌توان دریافت که دو حلقه تقویت کننده اصلی تبیین کننده روابط پویای متغیرهای شناسایی شده است: در حلقه تضعیف کننده سمت چپ شکل وجود کشتی‌های وارده باعث افزایش استفاده از منابع موجود در بنادر اعم از تجهیزات دریایی و خشکی خواهد شد و این به نوبه خود متوسط زمان انتظار کشتی‌ها را افزایش می‌دهد و همچنین متوسط زمان سرویس‌دهی به کشتی‌هارا نیز افزایش می‌دهد و بدین ترتیب این حلقه می‌تواند در کاهش عملکرد بندر نقش داشته باشد، بدیهی است تأثیر فوق پس از یک تاخیر زمانی اتفاق خواهد افتاد.



شکل ۲ نمودار علی-معلولی عملکرد ترمینال کانتینری

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 می‌شود.



شکل ۳ نمودار علی- معلولی جذابیت ترمینال کانتینری

در شکل ۳ یک حلقه تقویت کننده نمایش داده شده است که تعداد کشتی وارده باعث افزایش تعداد کشتی پهلو داده شده و همچنین تعداد کانتینر وارده به محوطه‌های وارداتی بنادر می‌شود و این امر به نوبه خود باعث پر شدن فضای انبارها و تعداد کانتینرها و به‌طور کلی باعث افزایش عملکرد بندر و همچنین بالابردن جذابیت کلی بندر برای جذب مشتریان یا همان کشتی‌های وارده می‌شود.

۴-۱- ارائه و تشریح مدل حالت و جریان

هدف اصلی نمودار جریان، بازنمایی ساختار جریانی دقیق سیستم در قالب ساختار سیاست‌های ظریف و جزئی آن به‌منظور تسهیل ایجاد مدل ریاضی برای شبیه‌سازی 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 زیرتقسیم شده است:

۱- بخش دریا: وظیفه این زیرسیستم انتقال کشتی‌های وارده به لنگرگاه بوسیله شناورهای یدک کش و راهنمابر تا ورود به بندر و پهلودهی کنار اسکله و همچنین جداسازی کشتی و راهنمایی آن با شناورهای یدک‌کش و کشتی راهنمابر تا لنگرگاه می‌باشد.

۲- بخش حمل‌ونقل و نگهداری موقت کانتینر: این زیر سیستم مربوط به زمانی است که کشتی به اسکله پهلودهی شده است و تجهیزات اسکله‌ها که مهمترین آنها جرثقیل گنتری است برای تخلیه هر کانتینر در دسترس باشد. هر کانتینر توسط جرثقیل گنتری بر روی یک کامیون محوطه‌ای قرار داده شده و به محوطه موقت نگهداری کانتینر یا مارشالینگ یارد انتقال داده می‌شود و سپس توسط جرثقیل‌های محوطه کانتینر صفافی و روی هم چیده می‌شود. حداکثر ماندگاری هر کانتینر در این محوطه موقت پنج روز می‌باشد

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 می‌باشد. با استفاده از جرثقیل‌های محوطه و کامیون‌های محوطه تمامی کانتینرها از محوطه‌های بافر و وموقتی که همجوار اسکله می‌باشند، به محوطه‌های اختصاصی ترمینال کانتینر انتقال می‌یابند. در این بخش تعدا کامیون‌ها و تعداد جرثقیل‌های محوطه و بهره‌وری مناسب آنها می‌تواند نقش به‌سزایی در تسریع فرایند تخلیه و بارگیری ایفاد نماید.

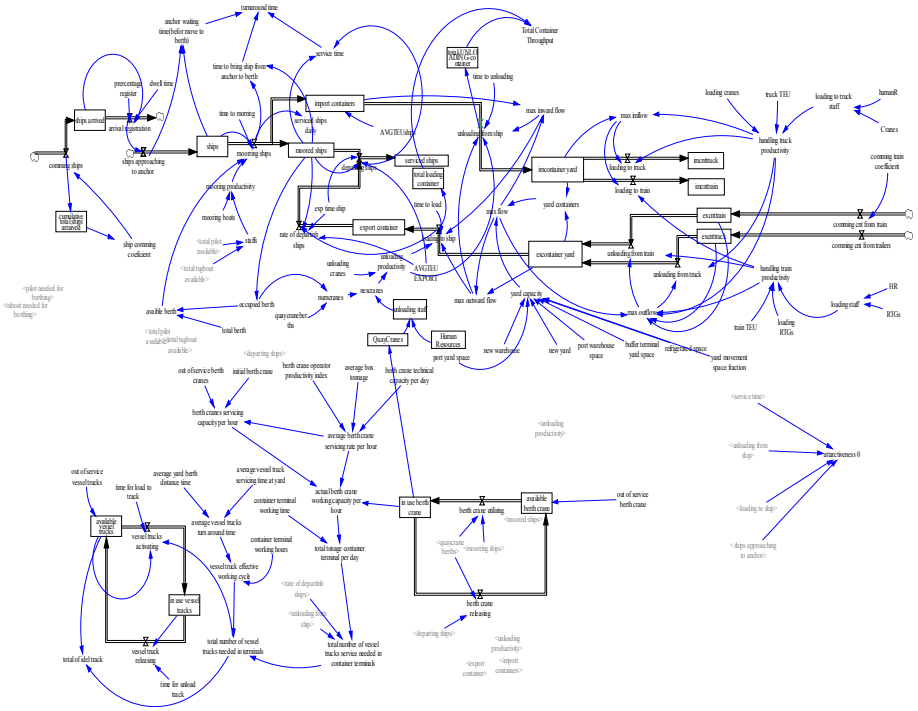
۴- زیرسیستم تخصیص فضا به چیدن کانتینر در محوطه کانتینری: در این زیر سیستم پس از حمل کانتینرها از محوطه موقت نگهداری کانتینر به محوطه کانتینری، کانتینرها در این محل می‌توانند بیش از پنج روز در بندر روی هم چیده شوند تا فرایند گمرک و سایر فعالیت‌های قانونی و لازم برای ترخیص کانتینرها مهیا شود.

۵- زیر سیستم حمل کانتینر به خارج از بندر و یا به داخل بندر: وظیفه زیر سیستم فوق، انتقال کانتینرها از محوطه‌های کانتینری به درب خروج یا خارج از بندر برای کانتینرهای وارداتی یا بالعکس برای کانتینرهای صادراتی، توسط کامیون‌های جاده‌ای و واگن‌های قطار می‌باشد. برای انجام این امر از جرثقیل‌های محوطه کانتینری مجدداً برای انتقال کانتینر از محوطه بر روی کامیون یا واگن‌های قطار (یا بالعکس) به‌منظور صادرات، واردات، ترانشیپ و ترانزیت به خارج از بندر و سایر شهرها استفاده می‌شود.

مدل حالت -جریان محوری‌ترین بخش یک شبیه‌سازی است که پس از برآورد پارامترها، اجرا شده و مبنای تحلیل سیاست‌ها و سناریوهای پیشنهادی قرارخواهد گرفت. بدین منظور می‌بایست متغیرهای حالت، جریان و متغیرهای کمکی مورد نیاز برای طراحی مدل جریان مشخص شود. قابلیت مدل جریان منوط به‌وجود داده‌ها در مورد پارامترها، نرخ‌ها، 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.

۴-۲- معرفی متغیرها و معادلات حاکم بر مدل

داده‌های موردنیاز مدل از سامانه ترمینال کانتینربندر شهید رجایی، فصل نامه‌ها و خبرگان سازمان بنادر و دریانوردی جمع آوری شده‌اند. از آنجا که مدل با جزییات 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.



شکل ۴ نمودار حالت – جریان عملکرد ترمینال کانتینر در بندر

جدول ۱ برخی از متغیرهای مدل

متغیربه‌کار 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	تعدادکشتی 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	زمان‌سرویس‌دهی به کشتی‌ها در کنار اسکله

ادامه جدول ۱

متغیربه کاررفته‌درمدل	معادله یا مقدار	واحد	توضیحات
Unloading from ship	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))	روز / کانتینر	نرخ تخلیه کانتینر از کشتی
In use berth crane	berth crane utilizing-berth crane releasing	تعداد جرثقیل کانتینری	تعدادجرثقیل کانتینری (گنتری‌کرین)در دسترس
In use vessel tracks	vessel trucks activating-vessel truck releasing	تعداد کامیون محوطه	تعداد کامیون محوطه‌ای در دسترس
attractiveness	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)	بدون واحد	درصد جذابیت بندر بین بنادر منطقه
total pilot available	-departure pilots +pilot daily service capacity-berthing pilots-pilot unused capacity	تعداد قایق راهنمابر	تعداد قایق راهنمابر در دسترس
total tugboat available	tugboat daily service capacity-berthing tugboat-departure tugboat-tugboat unused capacity	تعداد یدک کش	تعداد یدک کش در دسترس
berthing tugboat	moored ships*"ship\tugboat ratio"	روز / یدک کش	تعداد یدک‌کشی که در حال جسباندن و آوردن کشتی به اسکله‌ها می‌باشند
departure tugboat	departing ships*"ship\tugboat ratio"	روز / یدک کش	تعداد یدک کشی که در حال جدا سازی کشتی از اسکله و خارج نمودن کشتی از بندر می‌باشند

۴-۳- اعتبار سنجی مدل

برای تعیین اعتبار مدل از روش‌های مختلفی به شرح ذیل استفاده شد.

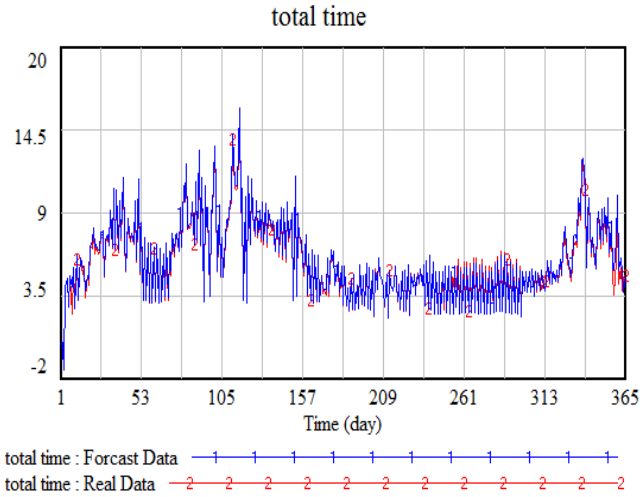
آزمون سازگاری ابعادی[۴]: این آزمون پاسخ به این سوال است که «آیا ابعاد متغیرها در همه معادلات در دو سمت معادله، در حالت موازنه قراردارد؟» به‌منظور پاسخ به این سوال از گزینه موجود در نرم افزار برای اجرای آزمون سلامت مدل استفاده شده که با توجه به پاسخ مثبت نرم افزار، آزمون سازگاری ابعاد مدل تأیید شد.

آزمون حدی: اگر متوسط تعداد کشتی‌های وارده در مدل برابر صفر شود، متغیرهای تأثیر پذیر مانند نرخ تخلیه یا نرخ بارگیری کانتینر، زمان سرویس‌دهی به کشتی‌ها، تعداد اسکله اشغالی صفر می‌شوند و از طرف دیگر اگر متوسط ورود کشتی‌ها نیز افزایش یابد، متغیرهای تأثیر پذیر مانند نرخ تخلیه یا نرخ بارگیری کانتینر، زمان سرویس‌دهی به کشتی‌ها، تعداد اسکله اشغالی افزایش یافته و پس از آن ثابت باقی می‌ماند و در لنگرگاه صف کشتی به وجود می‌آید.

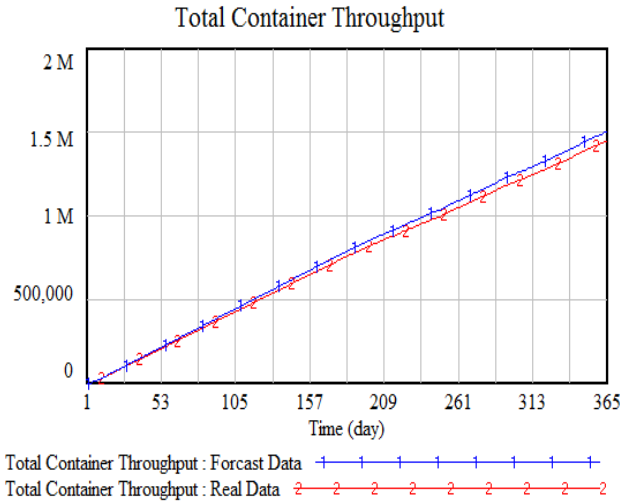
آزمون تأیید پارامتر[۵]: از بعد عددی تناقضی در صورت‌بندی مدل مشاهده نشد و از کارشناسان مدیریتی و افراد خبره حوزه سازمان بنادر و دریانوردی در تأیید نهایی موفقیت مدل پویا استفاده شده و طبق نظر آنها پارامترهای مدل مورد تأیید بوده است [۱۸].

آزمون شبیه‌سازی با داده‌های تاریخی: مدل برای سالهای ۱۳۹۴-۱۳۸۴ 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 شد. منظور از «کل زمان کشتی» از زمان ورود کشتی به لنگرگاه تا خروج کشتی از بندر می‌باشد. در اشکال ۵ و ۶ مقایسه بین اعداد داده‌های تاریخی و خروجی مدل شبیه‌سازی به تصویر کشیده شده است. براساس مطالعه سریانی اگر نرخ خطای متغیرهای کلیدی مدل شبیه‌سازی پیشنهادی با عملکرد واقعی کمتر از ۵ درصد باشد، اعتبار مدل مورد تأیید قرار می‌گیرد [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 می‌باشد. با توجه به منبع ذکر شده این اعداد هر کدام

کمتر از ۵ درصد می‌باشند و می‌توان به این نتیجه رسید که از منظر مقایسه با عملکرد دنیای واقعی نیز مدل پیشنهادی مورد تأیید است.



شکل ۵ مقایسه داده‌های تاریخی و شبیه‌سازی تعداد کل کانتینر تخلیه و بارگیری شده



شکل ۶ مقایسه داده‌های تاریخی و شبیه‌سازی کل زمان کشتی

۵- شبیه‌سازی 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 شناسایی شده که باتوجه به مدل پیشنهادی در قالب جدول شماره ۲ به‌صورت سه سناریو، به شرح ذیل می‌باشد.

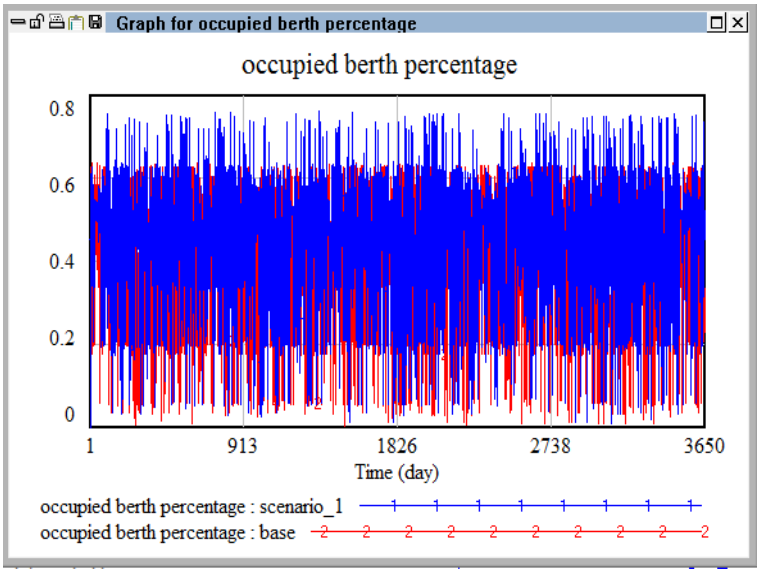
جدول ۲ اطلاعات مدل پایه و سناریوهای بررسی شده

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

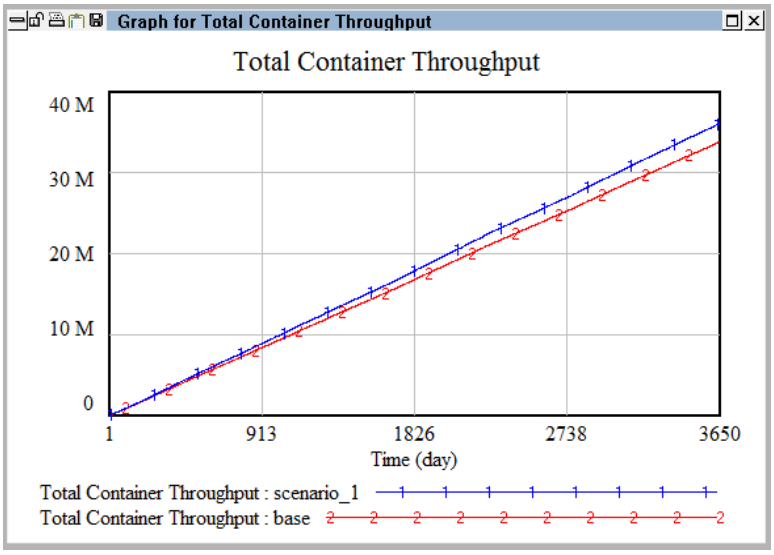
جدول ۳ نتایج سناریوهای بررسی شده

عملکرد	مدل پایه	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳
تعداد کل کانتینر تخلیه و بارگیری شده در طی ده سال	۳۲۰۰۰۰۰۰	۳۶۰۰۰۰۰۰	۳۳۵۰۰۰۰۰	۴۴۰۰۰۰۰۰
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 اسکله‌ها	٪۶۶	٪۷۲	٪۷۳	٪۸۲

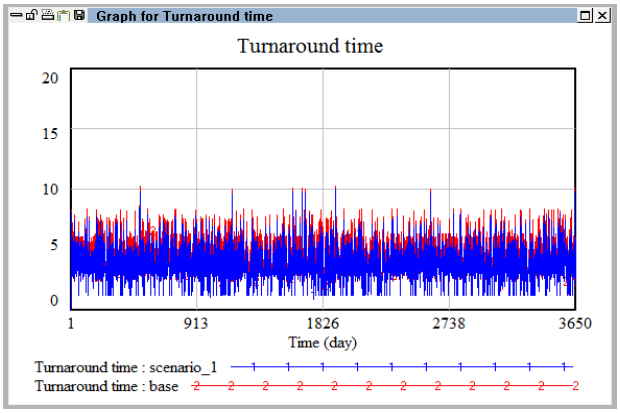
سناریو ۱. در این سناریو که توسعه بندر از نوع نرم افزاری محسوب شود، تعداد گنتری کرین‌های روی هر اسکله به جای دو دستگاه به سه دستگاه افزایش داده شده است. قابل ذکر است که تعداد کل گنتری کرین‌های ترمینال کانتینر ثابت است و با حرکت گنتری‌ها روی ریل می‌توان تعداد آنها را روی هر اسکله تغییر داد. شکل ۷ نمایانگر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



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

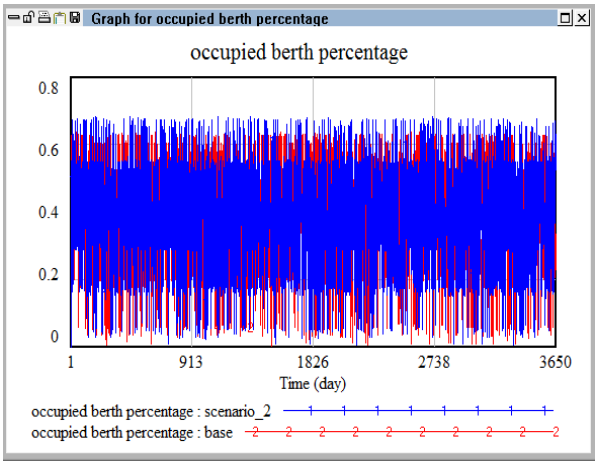


شکل ۸ تعداد کل کانتینر تخلیه /بارگیری شده در سناریو ۱ و مدل پایه

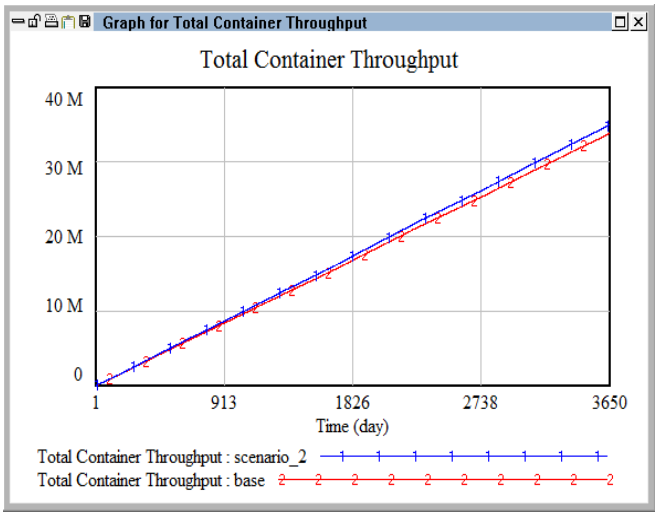


شکل ۹ زمان کل حضور کشتی از لنگرگاه تا خروج از بندر در سناریو ۱ و مدل پایه

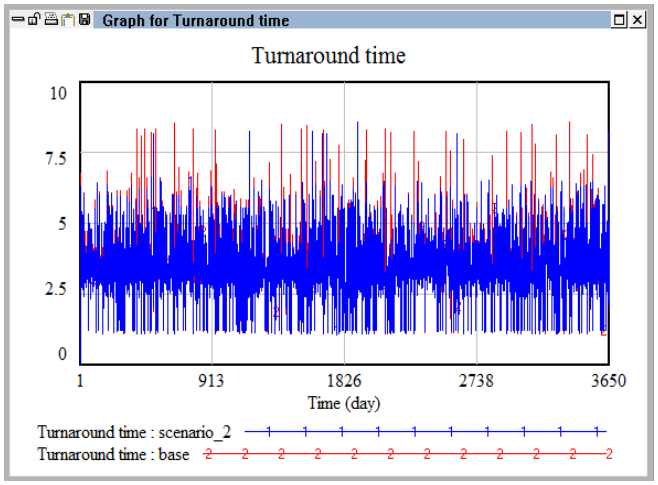
سناریو ۲. در این سناریو که از نوع سخت‌افزاری می‌باشد، تعداد اسکله‌ها یک اسکله اضافه شده و از ۷ اسکله به ۸ اسکله رسیده است. چنانچه در اشکال شماره ۱۰ الی ۱۲ نشان داده شده است، ضریب اشغال اسکله‌ها به‌طور متوسط ۷٪ افزایش، تعداد کل کانتینر تخلیه و بارگیری شده در طول ده سال حدود یک و نیم میلیون باکس افزایش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



شکل ۱۰ تعداد اسکله اشغال شده در سناریو۲ و مدل پایه



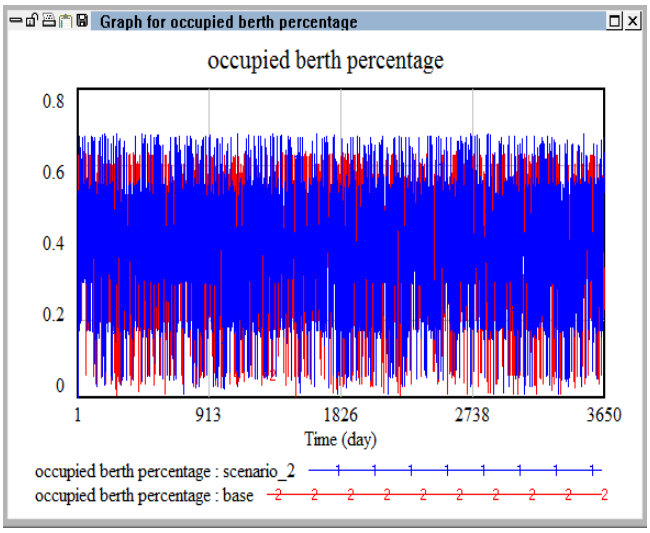
شکل ۱۱ تعداد کل کانتینر بارگیری/ تخلیه شده در سناریو ۲ و مدل پایه



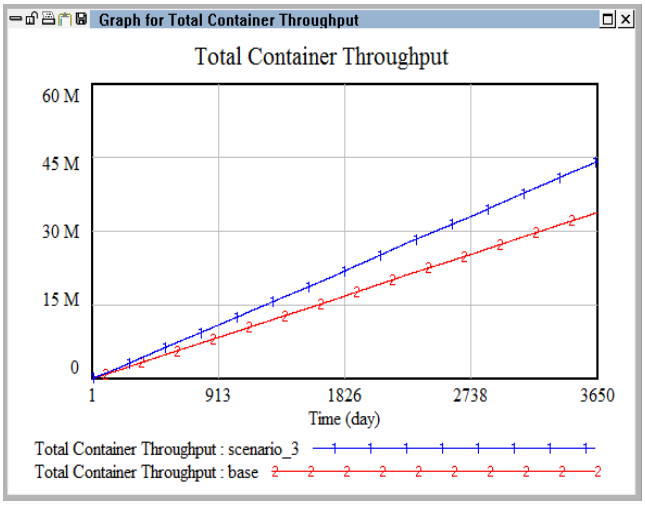
۱۲ زمان کل حضور کشتی از لنگرگاه تا خروج از بندر در سناریو۲

سناریو شماره ۳. این سناریو یک سناریو ترکیبی از سناریو ۱ و سناریو ۲ می‌باشد بدین معنی که تعداد اسکله‌ها 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.

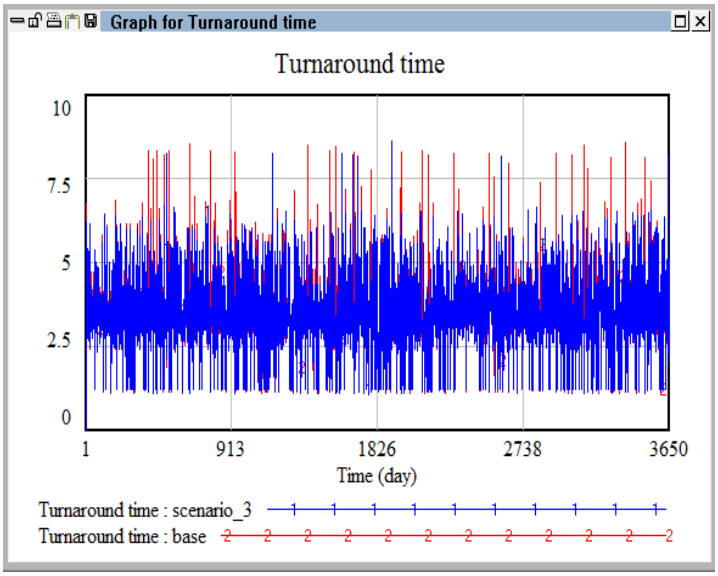
همانطور که از اشکال ۱۳ الی ۱۵ ملاحظه می‌شود، تعداد کل کانتینر تخلیه و بـارگیری شده از ۳۲ میلیون باکس به ۴۴ میلیون افزایش، اشغال اسکله‌ها ۱۶٪ افـزایش و زمـان کل حضور کشتی در بندر نیز به‌طور متوسط به ۲/۵ روز تقلیل یافته است.



شکل ۱۳ درصد اشغال اسکله در سناریو ۳



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



شکل ۱۵ زمان کل حضور کشتی از لنگرگاه تا خروج از بندر در سناریو۳

۶- نتیجه‌گیری

بنادردارای یک سیستم پویا با الگوی تصادفی و پیچیده هستند که از موجودیت‌های متعددی که دارای روابط پیچیده‌اند، تشکیل شده است. در این مقاله یک مدل پویایی سیستم برای عملکرد ترمینال کانتینر بنادر ارائه شده است. مدل پیشنهادی، کمک می‌نماید 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 سناریومورد بررسی قرارگرفته و نتایج هریک از نظر شاخص‌های تعداد تخلیه و بارگیری ترمینال کانتینر، زمان کل کشتی در بندرو در صد اشغال اسکله نشان داده شده است. در سناریوی اول که نیاز به هزینه سرمایه گذاری ندارد و میتوان با حرکت جرثقیل‌ها بر روی ریل، آنها را به اسکله‌ها اختصاص داد، می‌توان 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 و ساخت 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 در صد 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 داده‌های مالی و مربوط به هزینه را وارد نمود و سناریوهای مختلف را با دید هزینه نیز بررسی نمود.

۷- قدردانی

نگارندگان مقاله ازهمکاری سازمان بنادر و دریانوردی برای انجام این تحقیق تشکر می‌نماید. این مقاله با حمایت علمی و مادی سازمان بنادر و دریانوردی به انجام رسیده است.

۸- پی‌نوشت‌ها

1. Cedomir Dundovic
2. Josko Dvor nik . et al.
3. Claudio J. M. Soares et al.
4. Dimentional Consistency Test
5. Parameter Verification Test
6. Vensim

۹- مراجع

[1] Lattila, L., & Saranen, J., "Multimodal Transportation Risk in Gulf of Finland Region. " *World Review of Intermodal Transportation Research*, 2011: Vol. 3, No. 4, 376-394.

[2] Branch, A, E., *Element of port Operation and Managment.* Chapman & Hall, . New York, NY. :1968, 254-290

[3] Jang, BG. Yang, HJ. "Estimation of port Traffic in Korea. " *Journal of Korea Port Economic Association,* , 2005: Vol 21(4), pp 255-274.

[4] Kwon, N. J., Ahn, G. M., "A practical study on competitiveness Enhancement Strategy of container Terminal in Busan Port. " *Marine Korea*, 2002: 90-98.

[5] Yoon, Sun Jin. "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, 2007. 372.

[6] Dundovic, C., Bilic, M., & Dvornik, J. "Contribution to the Development of a Simulation Model for a Seaport in Specfic Operating Conditions. " *Promet – Traffic&Transportation,* , 2009: Vol. 21, 331-340.

[7] Dvornik, J., Munitic, A., & Bilic, M. "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., A Model for Predictable Capacity of a Container Terminal State: A System Dynamics Approach. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2013, 141-154.

[9] Gi-Tae Yeo, Ji-Yeong Pak, Zaili Yang, Analysis of dynamic effects on seaports adopting port security policy. Transportation Research Part A, 2013, , 285-301.

[10] Dikos, G., Marcus, H. S., Papadatos, P. M. and Papakonstantinou, V., Niver Lines: A System-Dynamic Approach to Tanker Freight Modeling. 2006, , Interfaces 36 (4), 326-341.

[11] Ying Wang, Chein-Chang and Gi-Tea Yeo. "Application and Improvement of s system Dynamics Model to forecast the Volume of Containers. " *Journal of Appled Science and Engineering Vol. 16, No2*, 2013: 187-196.

[12] Ataollah Shahpanah, Ahmad Asl Hashemi, Seyed Mojib Zahraee, Syed Ahmad Helm. , Reduction of Ship Waiting Time at Port Container Terminal Through Enhancement of the Tug/Pilot Machine Operation. The journal of Teknologi, 2014, : 68(3):63-66.

[13] Ulf Speer, Kathrin Fischer, . "Scheduling of Different Automated Yard Crane Systems at Container Terminals. " *Transportation Sciences* , 2016, 26-41

[14] MIA JURJEVIĆ, SVJETLANA HESS, THE OPERATIONAL PLANNING MODEL OF TRANSHIPMENT. Science in Traffic and Transport, 2016, , Vol. 28(2), 81-89.

[15] Rabieh M., Karami M M., Ziaee M ., yasobi A., Salari H., " Dynamic Analysis of Traffic-Injury Problem in Iran: System Dynamics approach", Modern Researches in Decision Making, 1, 2016, 71-99.

[16] Hamidizadeh MR, "System Dynamics", Shahid Beheshti University, Iran, 1394, 30

[17] Ahmadvand A, Mohammadiani Z, Khodadadi H, "Sustainable Urban Transportation System Dynamic Modeling for Traffic Improvement", Management Reserch in Iran, 9, 2015, 31-52

[18] Sterman. *"Business Dynamics:System Thinking and Modeling for a Complex World"*, Boston: McGraw-Hill, 2000, 237.

[19] Suryani. E., Chou, S. H., Chen, C. H. , . "Air passenger demand forecasting and passenger terminal capacity expansion: a system dynamics framework. " *Expert System with Application*, 2010: 37, 2324-2339.