

## الگوی سیستمی بهینه‌سازی موجودی انبار در بنادر بر اساس روش پویایی‌شناسی سیستم‌ها

مقاله علمی - پژوهشی

دامون رزمجویی\*، استادیار، دانشکده اقتصاد و مدیریت دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران

محمد هاشم موسوی حقیقی، استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، شیراز، ایران

محمد تهمتی، دانش آموخته دکترا، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

مجتبی عباسپور، استادیار، دانشکده اقتصاد و مدیریت دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: damoonrazmjooei@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۸ - پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۵

صفحه ۹۳-۱۰۸

### چکیده

فرایند تخلیه و بارگیری کالا و پروسه عملیات بندری شامل یکسری فعالیت‌های به هم پیوسته است که هر گونه کندی و توقف در جریان حمل و نقل در بندر بدلیل بوجود آمدن گلوگاه باعث افزایش زمان ماندگاری کشتی و کالا و در نتیجه ازدحام و بی‌نظمی در بخش اسکله، پایانه و یا درب خروج خواهد شد. افزایش زمان ماندگاری کالا (رسوب کالا) ضمن استهلاک تجهیزات بندری کارایی عملیات بندر و پس‌کرانه را بشدت کاهش می‌دهد. در این مطالعه یک مدل دینامیکی پویا برای بندر امام طراحی و با شبیه‌سازی آن طی سال‌های ۱۳۸۵ الی ۱۴۱۰ سعی شده است متغیرهای تأثیرگذار بر بهینه‌سازی انبار در بنادر را بررسی نماید. در پایان پس از آزمون و شبیه‌سازی مدل دینامیکی، سناریوی بهبود برای بهینه‌سازی انبار پیشنهاد شده است. افزایش ۳۰ درصدی زمان ماندگاری کالا، تأثیر بر ترافیک انبار تا دوره هفت ندارد و با یک نرخ کاهش در حال افزایش است. تجزیه و تحلیل انجام شده نشان می‌دهد نقش کاهش ۳۰ درصدی زمان ماندگاری کالا در نوسان‌های ترافیک کالا بسیار اثرگذار تر از افزایش ۳۰ درصدی نیروی کار است. نتایج حاصل از آزمون و شبیه‌سازی مدل دینامیکی با استفاده از نرم‌افزار *Vensim DSS* نشان می‌دهد که سیاست‌های مختلفی همچون کاهش رسوب کالا و یا افزایش تجهیزات و نیروی کار می‌تواند در بهینه‌سازی انبار بنادر نقش داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی موجودی انبار، رسوب کالا، الگوی پویایی سیستم

### ۱-مقدمه

کشتی (NOR) در لنگرگاه جهت ورود به بندر آغاز و تا زمان ترک اسکله پایان می‌یابد. لذا برای صاحب کشتی کاهش زمان حضور در بندر حائز اهمیت است. زمان ماندگاری کالا در بنادر طبق تعریف برابر است با مدت زمانی که کالا در انبار جهت خروج از بندر توسط جاده و یا ریل می‌ماند (Report of the Inter Ministerial Group, 2007). حال اگر این رویه یعنی خروج کشتی و کالا از بندر تحت تأثیر هر عاملی به تأخیر

یکی از مهمترین شاخص‌هایی که در مطالعه و ارزیابی عملکرد بندر مهم است، شاخص زمان در بندر است. از زمان ورود کشتی تا خروج کالا از بندر (در حالت واردات) بخش‌های مختلفی بصورت زنجیره‌ای درگیرند، بطوریکه توقف در هر یک از بخش‌ها منجر به تأخیر در کل سیستم زنجیره بنادر می‌شود. مدت زمانی که کشتی و یا کالا در بندر می‌ماند، زمان ماندگاری می‌نامند. زمان ماندگاری کشتی از زمان اعلام آمادگی

(نجفی، ۱۳۸۹). همچنین آمارها نشان می‌دهد که بنادر امیر آباد و نوشهر نیز به ترتیب از ۳۰۰ هزار تن و ۵۰۰ هزار تن کالای رسوب شده را در خود جای داده‌اند (تاتینا، ۱۳۸۴). در سیستم ورود و خروج کالای (از/ به) بندر به خاطر وجود قوانین، سازمان‌های مختلف، ساختارهای متفاوت و عملیات انفرادی افراد براساس عکس العمل‌ها با مشکلات متعددی روبرو خواهیم بود. در صورت اجرای یک سیاست نامناسب در دنیای واقعی، محیط واقعی (ساختارها) دچار تغییر گردیده و هزینه‌های زیادی را متحمل خواهیم شد و تبعات آن بدون شبیه سازی غیرقابل پیش بینی خواهند بود. در این ارتباط روش پویایی‌شناسی سیستم یا سیستم دینامیک روشی، هدف گراو بر اساس بازخورد است که در مقایسه با دیگر روش‌های تحلیل سیستم‌ها ساده و مؤثر بوده و می‌تواند به صورت یک روش کارآمد در الگوسازی سیستم‌های کاهش رسوب کالا به کار رود. روش پویایی سیستم، به مدیران در درک بهتر شرایط دنیای واقعی جهت علل افزایش زمان ماندگاری کالا کمک نموده و ابزار قابل فهمی را برای مدیران را ارائه می‌نماید. در این مطالعه، متغیرهای مدل از جمله هزینه، میزان تخلیه بار، میزان خروجی بار و زمان ماندگاری کالا مورد بررسی قرار خواهد گرفت. با توجه به مطالب فوق، هدف این طرح بهینه سازی موجودی انبار در بندر امام خمینی و تدوین راهکارهای و ارائه سیاست‌های بهینه به جهت کاهش رسوب کالا است. مطابق بررسی‌های انجام شده کاهش رسوب کالا در بندر به افزایش عملکرد و کاهش هزینه‌های بندری منجر می‌شود.

مهمترین عوامل مؤثر بر موجودی انبار بندر کدامند؟  
- هر یک از بخش‌های اسکله، انبار و درب خروج چه نقشی در موجودی انبار بندر دارند؟

- چه راه حل‌های عملی (سیاست‌های کاربردی) جهت کنترل ترافیک کالا در بندر در طول زمان وجود دارد؟

در بخش رسوب کالا در بندر خارجی تحقیقات زیادی انجام نشده است که شاید مهمترین عامل آن عدم وجود رسوب کانتینر در حجم زیاد در بندر بزرگ کانتینری جهان باشد. لالوانی و دیگران (۱۹۸۵) به بررسی نقش کامپیوترها در کاهش زمان ترخیص کالا از بندر پرداختند و استفاده از کامپیوتر را یکی از عوامل اصلی در کاهش زمان ماندگاری کالا در بندر عنوان کردند. کن و دیگران (۱۹۹۴) به بررسی نقش

بیافتد به ترتیب پدیده رسوب کشتی یا کالا رخ می‌دهد که باعث پایین آمدن راندمان کاری در تمام بخش‌های بندر می‌شود. طولانی شدن زمان رفت و برگشت کشتی و تأخیر در خروج کالا در بندر سبب افزایش هزینه برای صاحبان کشتی، نرخ باربری دریایی و در نهایت هزینه حمل و نقل و توزیع کالا می‌شود. طولانی شدن زمان توقف کشتی و رسوب کالا در بندر منجر به جابجایی‌های غیرضروری، طولانی شدن زمان انبارداری و در نتیجه پرداخت حق معطلی برای محموله‌ها می‌شود. توقفات و تاخیرات به صورت مستقیم و غیرمستقیم به نوبه خود بر اقتصاد بازار می‌تواند تأثیرگذار باشد و قیمت تمام شده کالا و خدمات را بالا ببرد.

هدف این مقاله ارائه یک الگوی پویا برای پایانه‌های بندری است تا با استفاده از آن بتوان سطح موجودی انبار را با کنترل عواملی همچون زمان ماندگاری کالا (رسوب کالا) بطور سیستماتیک در کل زنجیره بندر، بررسی و پیش بینی کرد. این امر در نهایت منجر به تسریع حرکت بار، کاهش هزینه‌های بندری و بهبود کارایی در بندر و در نهایت تحویل سریعتر سفارشات کالائی در بازار می‌شود.

## ۲- پیشینه تحقیق

صاحبان کالا طبق قانون موظف است تا در مدت مشخصی اسناد و مدارک لازم را جهت ترخیص کالاهای خود ارائه دهند و بندر در این مدت کالاها را برای صاحبان آن نگهداری می‌کند. نگهداری این کالاها در بندر هزینه بر و باعث افزایش ترافیک کالا و نتیجتاً رسوب آن در بندر و پایین آمدن میزان کارایی می‌شود. برای جلوگیری از رسوب کالا در بندر، هر بندر عموماً با توجه به میزان حجم کالای ورودی و خروجی به آن، زمان مشخصی را برای ترخیص و خروج کالا از بندر اختصاص می‌دهد. در بسیاری از بندر ایران بعضاً به دلیل خرابی تجهیزات تخلیه و بارگیری، ارزان بودن هزینه انبارداری بندر، پیچیدگی و چرخه زمانبر مراحل ترخیص و خروج کالا باعث رسوب حجم عظیمی از کالا در این بندر گردیده است. رسولی و همکاران (Rasuli et al., 2011). به طور مثال بندر انزلی در سال ۱۳۸۸ دارای ۸۰۶ هزار تن کالای رسوب شده بوده است که در مقایسه با سال گذشته با افزایش ۴۰ درصدی همراه است. این درحالی است که کل کالای تخلیه شده در بندر انزلی ۳/۴ میلیون تن بوده است

تا خروج از بندر و درصد اشغال اسکله ترمینال کانتینری می‌باشد. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که با افزایش یک دستگاه گنتری کرین تعداد کل کانتینرهای جابه‌جا شده ۱۲٫۵ درصد افزایش و متوسط زمان کشتی ۳۰ درصد کاهش می‌یابد. سناریوی سوم این مقاله پیشنهاد داده که با ساخت ۱ اسکله و همچنین افزایش یک دستگاه گنتری کرین تعداد کل تخلیه/ بارگیری ۳۷ درصد افزایش، زمان کشتی ۴۵ درصد کاهش و درصد اشغال اسکله ۱۶ درصد افزایش می‌باید. در انتقاد با این مقاله قابل ذکر است که با در نظر گرفتن این اصل که ساخت و ساز اسکله جدید سرمایه بر و زمان بر می‌باشد. بنابراین حتی الامکان انجام این امر در بنادر جدید جهت افزایش ظرفیت آن توصیه نمی‌گردد. امروزه این اعتقاد وجود دارد برنامه‌ریزی عملیات، بررسی توان عملیاتی و بهبود راندمان کار نقش بسزایی را در افزایش ظرفیت های بنادر ایفا می‌نماید. مانتیک و همکاران در سال ۲۰۰۳ در مقاله‌ای تحت عنوان مدل‌های پویایی سیستم جریان مواد کالاهای بندری، با استفاده از مدل شبیه سازی پویایی سیستم به بررسی فرایند کاری بنادر پرداخته‌اند. با توجه به پیچیدگی سیستم حمل و نقل دریایی، تعداد بازگیران زیادی جهت تسهیل این زنجیره نقش دارند که بکارگیری پویایی سیستم‌ها می‌تواند نقش موثری در مطالعه این سیستم حمل و نقل داشته باشد. ازتان ریسون و همکاران در سال ۲۰۱۴ به مرور مقالاتی پرداخته‌اند که روش پویایی سیستمها در حمل و نقل دریایی را استفاده کرده‌اند.

### ۳- روش تحقیق

تاریخچه‌ی معرفی و استفاده از الگوهای پویای سیستمی به حدود ۴۷ سال قبل بر می‌گردد. سیستم‌های دینامیکی (پویایی سیستم‌ها) تئوری، روش‌ها و فلسفه تحلیل رفتار سیستم‌ها را با هم ترکیب می‌کند. این روش نه تنها مورد استفاده مدیران برای تحلیل مسائل پیرامونی، بلکه جهت تحلیل تغییرات ساختاری در سیستم، سیاست‌گذاری، تحلیل رفتارهای اقتصادی، مسائل مختلف پزشکی، مهندسی، علوم کشاورزی و سایر علوم مورد استفاده قرار می‌گیرد. پویایی سیستم یک روش حل، تحلیل و بررسی مسائل مختلف در طول زمان است، و عامل پویایی این روش همین در نظر گرفتن عامل زمان می‌باشد. گام‌های مدل‌سازی در این تحقیق شامل سه مرحله ادراکی، فرمول سازی و آزمون های اعتبار الگو می‌شود.

اتوماسیون اداری در کاهش زمان ترخیص کالا در بنادر استرالیا و نیوزیلند پرداخته‌اند.

از نخستین تحقیقاتی که بصورت آکادمیک در این زمینه در ایران انجام شده است، تحقیق شهشانی (۱۳۶۱) است که تنها به بررسی تاثیر کندی عملیات بندری بر رسوب کالا پرداخته است. وی تراکم کالا در بنادر کشور را عاملی جهت ایجاد مشکلات جدی در کار معمولی سازمان گمرک ایران و سازمان بنادر و کشتیرانی معرفی کرده‌اند که بر روند برنامه ریزی اقتصادی و واردات کشور تاثیر مستقیم گذاشته و در نهایت صف نوبت برای کشتی های تجارتي وارده به بنادر کشور ایجاد می‌کند. واعظی (۱۳۷۹) مشکلات اقتصادی رسوب کالا بر واردات و صادرات کشور جمهوری اسلامی ایران را مورد بررسی قرار داده است، او دو بندر شهید رجایی و بندر امام خمینی را به عنوان واحدهای نمونه انتخاب کرد و نتایج حاصله از ارزیابی، که بیانگر ترتیب کارایی نسبی هر یک از پایانه‌ها است، مبین این مطلب است که با توجه به حجم سرمایه گذاری انجام شده در بنادر مذکور از نظر نیروی انسانی، ماشین آلات و ظرفیت تخلیه و بارگیری بکارگرفته شده در این امر، بندری که حجم عملیات بیشتری داشته‌اند به مقیاس قابل قبول کارایی نزدیکتر بوده‌اند. رسولی و دیگران (۱۳۸۸) به بیان برخی از عوامل موثر در رسوب کالا در بندر پرداخته‌اند. آنان به مسائل گمرکی و فراهم نبودن امکانات ویژه حمل و نقل بعنوان عواملی موثر در رسوب کالا می‌پردازند. بررسی نحوه بهینه سازی تعرفه بنادر موضوع تحقیقی است که آرمی (۱۳۷۶)

انجام داده و توانسته برخی از عوامل موثر بر تعرفه کالا در بنادر را شناسایی نماید. وی ضعف در ارائه خدمات بندری را عامل اصلی صادرکنندگان و واردکنندگان کالا به کشور معرفی کرده است و تجهیز بنادر با امکانات روز جهانی را عاملی در جهت کاهش هزینه‌های داد و ستد، هزینه‌های جابجایی و نیاز به راه های زمینی کمتر معرفی کرده است.

در خصوص تحقیقات انجام گرفته با مدل پویایی سیستم ها در زمینه بنادر و حمل و نقل می‌توان به تحقیق حیدر پور و همکاران (۱۳۹۶) اشاره نمود. در این تحقیق مدلی برای پیش بینی عملکرد پایانه کانتینر در بنادر با استفاده از رویکرد پویایی سیستم ارائه شده است. 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

روند عملیاتی تخلیه بار از کشتی و خروج کالا از بندر بوده است.

#### ۴- ساختار الگوی پویای انبار

##### ۴-۱- مدل ذهنی (علت و معلولی)

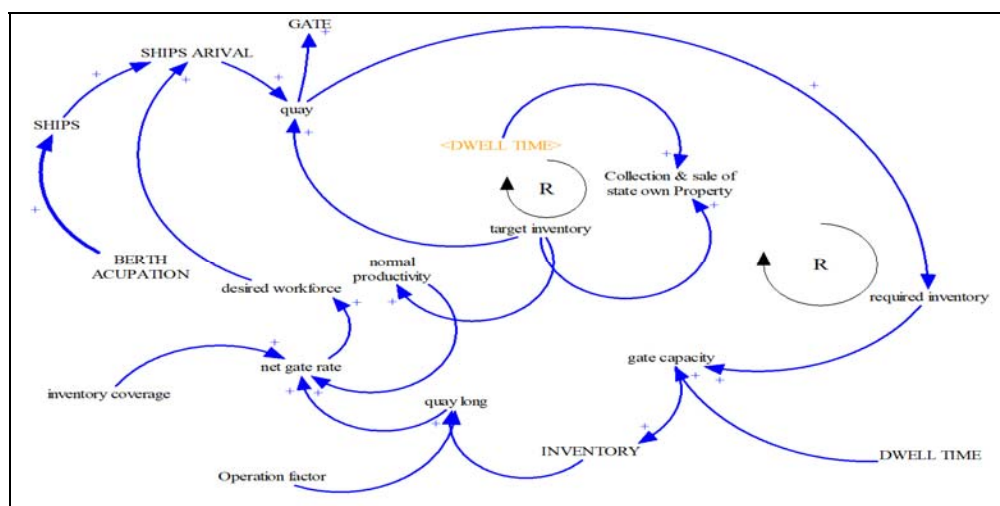
نمودار علی- معلولی نموداری است که روابط علی بین متغیرهای سیستم را نشان می‌دهد. با این ابزار مدل‌های ذهنی افراد ساده‌تر درک می‌شود. در مقاله حاضر با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی، سیستم زیر برای مدیریت موجودی انبار در نظر گرفته شده است:

شکل ۱، یک نمودار علت و معلولی از سیستم تخلیه و بارگیری و انبار بندر را نشان می‌دهد. هر پیکان معرفتی کننده یک رابطه علت و معلولی است. علامت مثبت (منفی) روی پیکان نشان دهنده این است که افزایش (کاهش) یک متغیر موجب افزایش (کاهش) متغیر دیگر می‌شود. برای مثال در شکل ۱ با افزایش زمان رسوب، مقدار کالای موجود در انبار و همچنین اسکله افزایش خواهد یافت که منجر به کاهش خروجی از درب بندر می‌شود. دلیل این امر افزایش زمان ماندگاری کالا است. همچنین یک رابطه باز خوردی بین دو متغیر بهره‌وری و مقدار خروج کالا به صورت منفی وجود دارد، به این معنی که با کاهش بهره‌وری، مقدار خروجی کالا از درب بندر کاهش خواهد یافت.

در مرحله ادراکی حدود مسئله و مرزهای مدل بر اساس هدف اصلی تعریف شده همراه با معرفی متغیرهای کلیدی الگو مشخص می‌شوند. مکانیزم‌های اولیه‌ی علت و معلولی و رسم نمودارهای علت و معلولی و موجودی و جریان گردش مواد و اطلاعات در این مرحله نیز انجام می‌پذیرد. در مرحله اول یک مدل ذهنی یا یک مدل علت و معلولی از مسئله مورد نظر ایجاد می‌شود که در آن عناصر مدل و روابط علی در میان آنها مشخص خواهد شد. بر اساس نمودار علت و معلولی، این امکان فراهم خواهد شد تا برآوردی از رفتار متغیرهای مختلف و الگوی رفتاری کل سیستم ایجاد گردد.

در مرحله دوم یک مدل شبیه‌سازی یا نمودار سطح و نرخ از مسئله مورد نظر بر اساس مدل ذهنی و داده‌های واقعی تحت مطالعه ساخته می‌شود. در این مرحله می‌توان الگوهای رفتاری پارامترهای مختلف را بر اساس نمودارها و اعداد مشاهده کرد. در مطالعات پویایی سیستم تأکید اصلی بر فهم روندها و رفتارهای متغیرها است تا ارزش‌ها و اعداد.

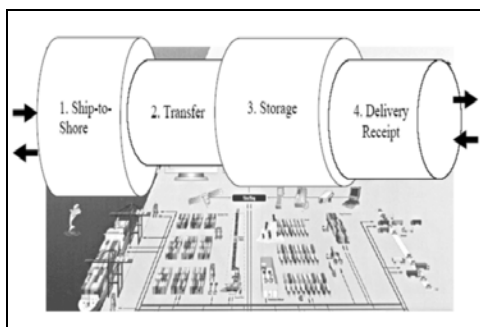
بخش فرمول‌سازی شامل تعریف متغیرها به متغیرهای سطح و نرخ، برآورد پارامترها و توسعه مدل در نرم افزار Vensim DSS است. در مرحله سوم شبیه‌سازی الگو و ارزیابی سیاست‌ها انجام می‌پذیرد. در نهایت برای ایجاد اطمینان نسبت به درستی و بهبود مدل از آزمون‌های خطای تجمعی و آزمون حدی استفاده شده است. شیوه جمع‌آوری اطلاعات در این تحقیق، بررسی منابع کتابخانه‌ای و میدانی



شکل ۱. نمودار علت و معلولی سیستم تخلیه و بارگیری در بندر

## ۲-۵ نمودارهای سطح و نرخ

بر اساس نمودار علت و معلولی مسئله مورد بررسی، می توان از نمودار سطح و نرخ مسئله به منظور بهتر نشان دادن ساختار مدل و فرایندهای سیستم استفاده کرد. نمودار جریان، نموداری است که نحوه تعامل بین متغیرهای یک سیستم با یکدیگر را نشان می دهد. این نمودار گرافیکی می تواند مبنایی برای توسعه یک مدل کمی شبیه سازی باشد (کرک وود، ۱۹۹۸). متغیرهای سطح در حقیقت متغیرهای انباشت (برای مثال مقدار آب ذخیره شده در پشت سد) است. به طور عموم، متغیرهای سطح وضعیت سیستم را توصیف می کنند که بر اساس آن تصمیمات و عملیات پایه گذاری می شوند. متغیرهای نرخ بیان کننده نرخهایی است که با آنها می توان متغیرهای سطح را تغییر داد. برای مثال مقدار آب ذخیره شده در پشت سد (متغیر سطح) با جریانهای ورودی و خروجی که متغیر نرخ می باشند، تغییر داده می شود. در این مقاله مرز سیستم از مرحله ورود کالا به بندر از زمان انتظار کشتی در لنگرگاه تا زمان خروج کالا از درب بندر در نظر گرفته شده است (شکل ۴).

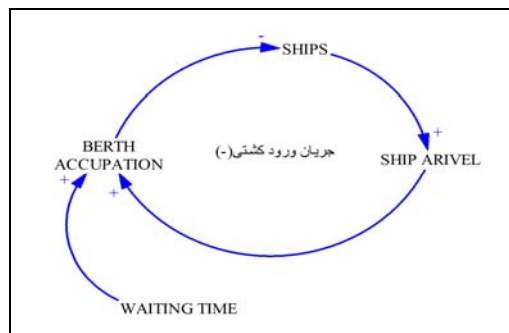


شکل ۴. شماتیک ورود کالا از / به بندر

عمده فعالیت ورود کالا از دریا در سه بخش به شرح زیر صورت می گیرد. ۱- ورود کشتی به اسکله ۲- تخلیه کالا از شناور و انتقال کالا به انبار یا محوطه کانتینری (در مورد کانتینر) ۳- بارگیری کالا از انبار و خروج از درب خروج.

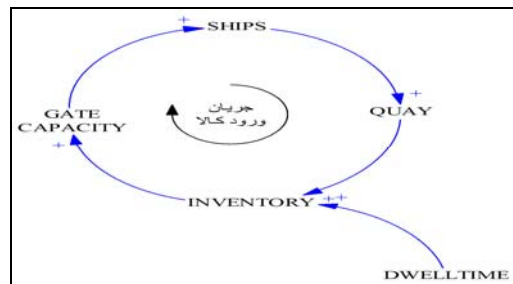
**ورود کشتی به اسکله:** در این زیر سیستم مجموع حضور کشتی در بندر می تواند به چهار دوره زمانی الف - زمان انتظار ب- زمان مانور ورودی ج- زمان ارائه خدمات (که مجموع زمان عملیات و زمان توقف عملیات تخلیه و بارگیری است) د- زمان مانور خروجی تقسیم گردد. الف) در مفاهیم بندری،

شکل ۲ جریان ورود کشتی و نرخ اشغال اسکله را نشان می دهد. زمان انتظار به عنوان یک متغیر برون زای منفی بر روی نرخ اشغال اسکله تاثیرگذار است. افزایش زمان انتظار به عنوان یک متغیر تعدیل گر در حلقه جریان ورود کشتی محسوب می گردد.



شکل ۲. نمودار علت و معلولی جریان ورود کشتی

با افزایش ورود شناور به اسکله، حجم کالای ورودی به انبار افزایش می یابد که موجب افزایش ترخیص کالا از درب خروج می گردد. زمان رسوب کالا به عنوان یک متغیر برون زای موجودی انبار نیز تاثیر مثبت دارد (شکل ۳).



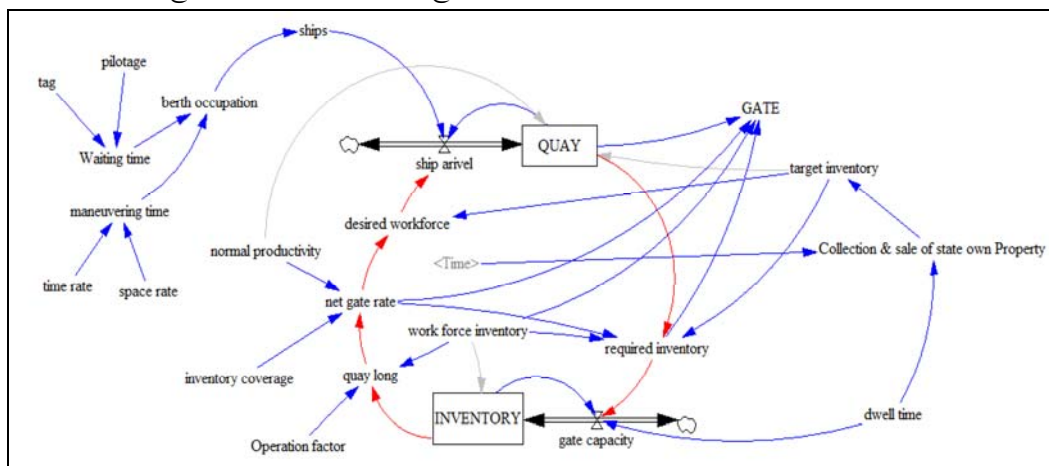
شکل ۳. نمودار علت و معلولی جریان ورود کالا

مجموع شناورهای ورودی به اسکله به ترتیب از عواملی همچون درصد اشغال اسکله، تعداد کشتی های ورودی و رسیدن کشتی ها به بندر تاثیر می پذیرد که رابطه مربوطه در بخش معادلات توضیح داده شده است. محموله های ورودی به اسکله یا با توجه به فرایند ترانزیت داخلی از اسکله بدون طی کردن تشریفات گمرکی خارج می شوند و یا اینکه با در نظر گرفتن میزان کار انجام گرفته به سمت درب خروج می روند. میزان تقاضای درب خروج از مجموع مقدار کالای موجود اولیه در انبار و محصولات ورودی از اسکله تشکیل می گردد.

**بارگیری کالا از انبار:** کامیون‌های بارگیری شده جهت خروج از بندر زمان قابل توجهی را بدون کارکرد در صف انتظار سپری می‌کند که منجر به ازدحام کامیون‌ها در مبادی خروجی بندر می‌شود و این امر به عوامل گوناگونی همچون تعداد سرورها، نرخ ارائه خدمت‌دهی و ضریب بهره‌وری بستگی دارد. که با در نظر گرفتن این عامل در پویایی سیستم‌ها می‌توان تا حدودی باعث کاهش این ازدحام در بندر شد. شکل ۵ نشان دهنده نمودارهای سطح و نرخ سیستم عملیات بندری است. در این نمودار متغیرهای اسکله، انبار و درب خروج، متغیر سطح هستند که یک فرایند تسه‌نقاله‌ای دارند. میزان کالاهای موجود در سطح اسکله توسط متغیر تعداد کشتی‌های ورودی به اسکله که یک متغیر نرخ است افزایش می‌یابد یا به عبارتی تغذیه می‌شود و توسط متغیرهای شناورهای خروجی و متغیرهای تخلیه که هر دو متغیرهای نرخ هستند، کاهش می‌یابد یا تخلیه می‌گردد. موجودی انبار یا به درخواست صاحبان کالا مورد بازرسی سازمان‌های نظارتی همچون گمرک، قرنطینه و استاندارد قرار می‌گیرد و از درب بندر خارج می‌گردد یا با توجه به کوتاهی صاحبان کالا مشمول مرور زمان بیش از ۴ ماه می‌گردد. در حالت دوم کالاها مشمول مقررات متروکه می‌شود و توسط سازمان جمع‌آوری و فروش املاک تملیکی ضبط و توقیف می‌گردد. پس از بازرسی‌های لازم، صاحب کالا مجوز بارگیری و خروج کالا از متغیر سطح انبار را دریافت می‌کند. کالاهای بارگیری شده به سمت درب خروج حرکت می‌کنند. در هر سه فرایند تسه‌نقاله‌ای

کشتی پس از اعلام آمادگی (NOR) در محل لنگر گاه، لنگر اندازی نموده و مدت زمانی را منتظر می‌ماند. (زمان انتظار) تا عملیات مانور توسط قایق راهنما جهت ورود به اسکله را پیدا کند. حدود یک ساعت زمان می‌برد تا قایق راهنما خود را به کشتی در لنگرگاه برساند و عملیات مانور را شروع کند. شایان ذکر است زمان مورد انتظار جهت رسیدن پایلوت به لنگرگاه در بندر امام خمینی از استاندارد تعریف شده و ثابتی برخوردار است و شاخص زمانی آن یکساعت تعیین گردیده است. (ب) زمان انجام عملیات مانور عبارت است از یک تاخیر زمانی قبل از پهلوگیری است که با شروع عملیات مانور جهت پهلو دهی آغاز و با بسته شدن طنابهای کشتی به اسکله پایان می‌پذیرد. به مدت زمان حضور کشتی در اسکله که از پهلوگیری آغاز و به محض ترک اسکله خاتمه می‌یابد، زمان ارائه خدمات می‌گویند. این زمان خود از مجموع زمان عملیات و زمان توقف تشکیل شده است.

**تخلیه کالا از شناور:** جهت تخلیه کالا از کشتی، برحسب گروه کالا (غلات، کانتینری و یا کالاهای عمومی) از تجهیزات و انبارهای مختلفی استفاده می‌کنند. مدت مجاز نگهداری کالا در انبارهای گمرکی از تاریخ تحویل کالا به این اماکن سه ماه است که در صورت علل موجه و موافقت گمرک تا دو ماه دیگر قابل تمدید است (ماده ۲۴ قانون گمرکی مصوبه ۱۳۹۰). در صورتی که ظرف مهلت مقرر صاحب کالا برای انجام تشریفات گمرکی و پرداخت وجوه متعلقه اقدام نماید کالا مشمول مقررات متروکه می‌شود.



شکل ۵. نمودار سطح و نرخ سیستم عملیات بندری

در زمان  $t$  و  $t$  هر زمان بین  $t_0$  و  $t_n$  ( $t_0 \leq t \leq t_n$ ) است. بر این اساس معادلات مربوط به متغیرهای سطح که شامل اسکله (رابطه ۲) و انبار (رابطه ۳) است به صورت جدول زیر نوشته خواهد شد.

جدول ۳. لیست معادلات سطح

$Quay(t) = \int_{t_0}^{t_N} [SA(t)]dt + TIN * P(t_0)$	(۲)
$IN(t) = \int_{t_0}^{t_N} [GC(t)]dt + WFI$	(۳)

که مقادیر هر متغیر در زمان  $t_0$  در حقیقت همان مقدار اولیه متغیر است. نرخ کالای توقیفی توسط سازمان جمع‌آوری و فروش اموال تملیکی (COLL) که به دستور مقامات قضایی بر اساس زمان مشخص شده تعریف شده به صورت زیر است:

$$If \quad T > DT, \quad then \quad Coll = 50/80 \quad (\epsilon)$$

به این ترتیب رسوب کالا به عنوان عامل مهم در مقدار موجودی انبار، مقدار خروجی از اسکله و میزان کالای توقیفی تعیین می‌گردد. موجودی هدف انبار (Target Inventory) مقدار موجودی است که بندر با توجه به راهبرد بهینه در نظر دارد اعمال نماید. موجودی اولیه مورد نیاز انبار (Initial Required Inventory) حداقل موجودی مورد نیاز انبار است که از این سطح پایین‌تر نیاید. مقدار پوشش لازم برای هر انبار (Inventory Coverage) به حداکثر موجودی انبار که قابل نگهداری است گفته می‌شود.

در مدل پیشنهادی با لحاظ نمودن سه متغیر موجودی هدف انبار، موجودی اولیه مورد نیاز و مقدار پوشش لازم برای هر انبار، مقدار سطح بهینه انبار با توجه به سیاست‌های بندر تغییر می‌کند.

### اعتبار سنجی مدل

پس از ایجاد نمودار جریان انباشت و شبیه‌سازی سیستم و قبل از استفاده از مدل جهت تحلیل و سناریو پردازی، برای ارزیابی و بهبود مدل، اعتبار مدل با استفاده از روش‌های زیر مورد آزمون قرار گرفت.

آزمون سازگاری ابعادی (Dimensional Consistency Test)

در راستای پاسخ به این سوال است که آیا ابعاد

تقاله‌ای، عوامل مختلفی همچون زمان انتظار، زمان ماندگاری کالا و طول صف می‌تواند بر موجودی انبار تاثیر گذار باشد.

### ۵-۳ معادلات مدل

متغیرهای مدل و معادلات مربوط به نمودارهای علت و معلول به شرح جدول شماره ۱ و ۲ هستند:

جدول ۱. متغیرهای سطح و نرخ بر اساس علامت اختصاری

نام متغیر	علامت اختصاری	نام متغیر	علامت اختصاری
Maneuvering Time	MT	Target Inventory	TIN
Waiting Time	WT	Required Inventory	RIN
Gate	G	Inventory	IN
Ship arrival	SA	Dwell Time	DT
Quay	Q	Work Force Inventory	WFIN
Berth Occupation	BO	Desired workforce	DW
Collection & Sale	COLL	Normal Productivity	NP
Quay long	QL	Gate Capacity	GC
Net gate Rate	NGR	Space Rate	ST
Time Rate	TR	TUG	TUG
Pilotage	PIL		

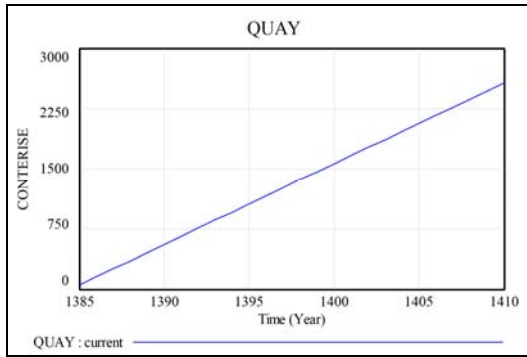
جدول ۲. لیست اولیه معادلات الگو

متغیر	معادلات
Maneuvering Time	$MT = ST * TR$
Waiting Time	$WT = PIL * TUG$
Berth Occupation	$BO = MT * WT$
Ship arrival	$SA = 100 + (DW - Q) / S$
G	$G = Q * RIN * NGR / WFI$
Required Inventory	$ZIDZ(\text{target inventory, QUAY} * \text{net gate rate}) * \text{work force inventory}$
Quay long	$\text{Operation factor} * (\text{INVENTORY} / \text{work force inventory})$
Net gate Rate	$\text{normal productivity} * \text{inventory coverage} * (\text{quay long})$
Desired workforce	$ZIDZ(\text{target inventory, net gate rate})$

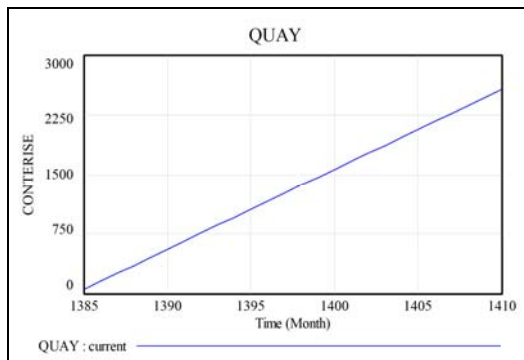
بر اساس نمودارهای سطح و نرخ، متغیرهای سطح از تفاوت بین جریان‌های ورودی و خروجی انباشته می‌شوند. بنابراین متغیرهای سطح به صورت رابطه ۱ فرموله می‌گردد:

$$Stock(t) = \int_{t_0}^{t_n} [Inflow(t) - Outflow(t)]dt + Stock(t_0) \quad (1)$$

که  $Stock(t)$ ، مقدار متغیر سطح در زمان  $t$ ،  $Inflow(t)$ ، جریان ورودی در زمان  $t$  و  $Outflow(t)$ ، جریان خروجی



شکل ۷-۱- اجرای مدل با واحد زمانی سال



شکل ۷-۲- اجرای مدل با واحد زمانی ماه (اجرای آزمون

تجمعی)

### آزمون تایید پارامتر

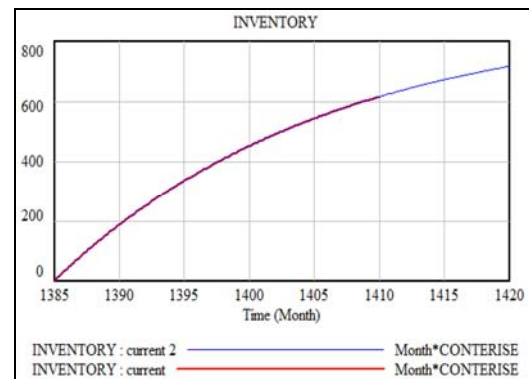
پارامترها و مقدار عددی آنها باید تناسب داشته باشند. آزمون تایید پارامتر در پاسخ به این سوال است که آیا پارامترها از نظر مفهومی و عددی با دنیای واقعی تناسب دارند؟ اینکه آیا پارامترها در سیستم واقعی وجود دارند یا برای موازنه معادله طراحی شده‌اند. طبق نظر افراد خبره حوزه بنادر و دریانوردی پارامترهای مدل مورد تایید بوده است.

### آزمون حالت حدی

نشان می‌دهد ساختار و نتایج مدل در صورتی که در معرض مقادیر حدی اما ممکن متغیرها قرار گیرند رفتار قابل انتظاری از خود نشان می‌دهد یا خیر؟ به عنوان مثال اگر در فرایند، موجودی صفر شود به تبع آن تولید هم باید صفر شود (سارگنت، ۲۰۰۳). تست حالت حدی در این مقاله با فرض صفر شدن عوامل تحویل کالا به اسکله و میزان رسوب کالا صورت گرفت. همانطور که شکل ۸-۱ نشان می‌دهد در صورتی که تجهیزات ورود کشتی به اسکله (یدک کش) و یا

متغیرها در هر دو سمت معادلات تعادل دارند یا خیر {۳۳}. به منظور پاسخ به این سوال از گزینه موجود در نرم افزار (Model > Unit Check) برای اجرای آزمون سلامت مدل استفاده شد که با توجه به پاسخ مثبت نرم افزار آزمون سازگاری ابعاد مدل تایید شد.

**آزمون کفایت مرز زمانی:** یکی دیگر از آزمون‌های صورت گرفته، آزمون کفایت مرز مفهومی است که آیا همه مفاهیم و متغیرهای مهم مرتبط با موضوع در داخل مرز مدل قرار گرفته‌اند؟ یا خیر. همچنین متغیرهای تاثیر گذار بر ماندگاری کشتی و کالا به عنوان متغیر برون زا آورده شده است. آزمون کفایت مرز با استفاده از نظر خبرگان در جامعه بندری بررسی و مورد تایید قرار گرفت. آزمون کفایت مرز زمانی، حاکی از آن است که آیا روند متغیرهای کلیدی الگو با استفاده از باز کردن بازه زمانی تغییر می‌یابد یا خیر. در این راستا سطح موجودی انبار علیرغم افزایش بازه زمانی از ۱۴۱۰ به ۱۴۲۰، تغییری نمی‌کند (شکل ۶).

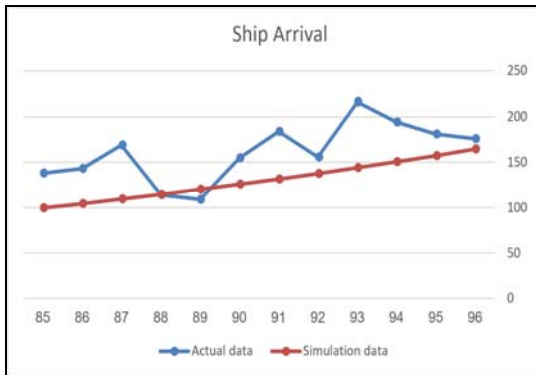


شکل ۶. آزمون کفایت مرز مفهومی

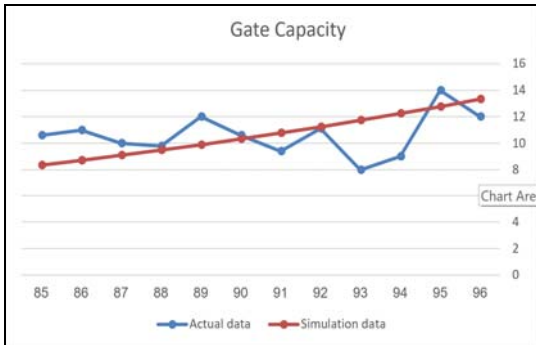
### آزمون خطای تجمعی

بدین معنی است که نتایج شبیه سازی نسبت به تغییر واحد زمانی حساس نیست و در صورت تغییر واحد زمانی نتایج مشابهی بدست می‌آید. بدین منظور واحد زمانی تحقیق از سال (شکل ۷-۱) به ماه (شکل ۷-۲) تغییر داده شد که با توجه به عدم تغییر نتایج می‌توان گفت مدل نیز موفق عمل می‌کند.

می‌دهند که رفتار متغیرهای مورد بررسی، بخوبی شبیه سازی شده است.



شکل ۹. اطلاعات واقعی و نتایج شبیه سازی متغیر شناورهای ورودی در سالهای ۱۳۸۵ الی ۱۳۹۶



شکل ۱۰. اطلاعات واقعی و نتایج شبیه سازی ظرفیت ورودی درب انبار

### آزمون محاسبه میزان خطا

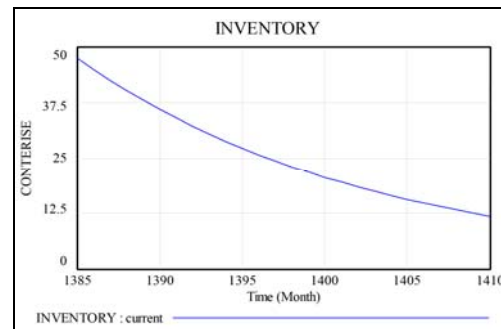
علاوه بر باز تولید رفتار الگو برای اطمینان از نتایج شبیه سازی شده، خطای متغیرهای کلیدی نیز بر اساس روش‌های زیر محاسبه شد.

### حداقل خطای مجذورات

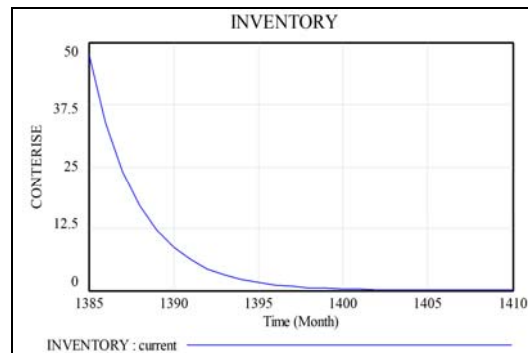
بر اساس این شاخص هر چه میزان تفاوت بین داده‌های واقعی و شبیه سازی شده کمتر باشد، به نتایج شبیه سازی شده می‌توان اعتماد کرد (موسوی حقیقی و همکاران، ۱۳۹۵). میزان خطا در این روش بر اساس رابطه شماره ۵ محاسبه می‌شود.

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{\theta} \sum_{i=1}^{\theta} \left( \frac{y_{T+i}^s - y_{T+i}^a}{y_{T+i}^a} \right)^2} * 100 \quad (5)$$

نیروی انسانی بیکار شوند، میزان موجودی در انبار کاهش و به صفر می‌رسد. همچنین در صورتی که میزان رسوب کالا در انبار صفر شود، سطح موجودی انبار کاهش و به سمت صفر گرایش پیدا می‌کند (شکل ۸-۲) که مفروضات این تست را تایید می‌نماید. ذکر این نکته ضروری است که موفقیت در سنجش اعتبار یک مدل نشان دهنده تطابق کامل آن با واقعیت و یا اعتبار کامل آن نیست بلکه نشان دهنده مفید بودن یک مدل است (سوشیل، ۱۳۸۷).



شکل ۸-۱- اجرای مدل پس از تغییرات تجهیزات ورود کشتی به اسکله (آزمون حدی)



شکل ۸-۲- اجرای مدل پس از تغییرات رسوب کالا (آزمون حدی)

### آزمون رفتار مجدد

هدف از این آزمون، مقایسه نتایج شبیه سازی با داده های واقعی برای اطمینان از صحت عملکرد رفتار الگو است. به عبارتی دیگر، در این حالت رفتار شبیه سازی شده برای الگو باز تولید می‌شود تا با داده‌های واقعی مقایسه شود. (موسوی حقیقی و همکاران، ۱۳۹۵). همانطور که در شکل‌های ۹ و ۱۰ ملاحظه می‌شود، اطلاعات واقعی و نتایج شبیه سازی متغیرهای شناورهای ورودی و ظرفیت درب انبار در سال‌های ۱۳۸۵ الی ۱۳۹۶ نشان داده شده است. این نمودارها نشان

### تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت، یکی از بخش‌های مهم الگوهای پویایی شناسی سیستم محسوب می‌شود و نشان دهنده میزان حساسیت متغیرهای کلیدی پژوهش، نسبت به پارامترهای پژوهش است؛ بنابراین، پارامترهای پژوهش را به یک اندازه تغییر می‌دهد و اثر آن را بر متغیرهای کلیدی بررسی می‌کند (موسوی حقیقی و همکاران، ۱۳۹۵).

در این بخش، حساسیت موجودی انبار و تعداد کشتی‌های ورودی نسبت به تغییرات زمان رسوب کالا سنجیده خواهد شد. بدین منظور رسوب کالا به میزان ۵۰ درصد تغییر داده می‌شود و اثر آن بر متغیرهای مذکور بررسی می‌شود. همانطور که در شکل ۱۱ ملاحظه می‌شود، اثر این تغییر بر موجودی انبار بسیار است. می‌توان گفت سیاست‌هایی نظیر تغییر تعرفه‌های انبار داری که به تغییر زمان رسوب منجر می‌شود، تاثیر بسزایی در رفتار موجودی انبار می‌تواند داشته باشد؛ اما همانطور که شکل ۱۲ نشان می‌دهد، این تغییر تاثیر چندانی در کاهش ورود شناور به بندر ندارد.

بر این اساس، هر چه میزان RMSPE به صفر نزدیکتر باشد، به مفهوم خطای کمتر و نزدیک بودن به صد درصد نشان دهنده خطای بیشتر است (استرمن، ۲۰۰۰).

### شناسایی ریشه‌های خطا

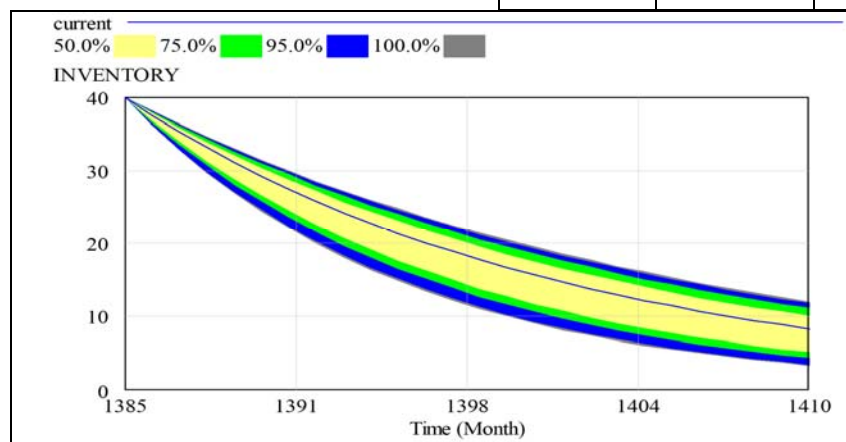
روش دیگر برای سنجش انحراف مقادیر شبیه سازی شده از داده‌های واقعی، محاسبه UT است که طبق رابطه شماره ۶ به دست می‌آید. مقدار UT همواره بین صفر و یک خواهد بود؛ هر چه این مقدار به صفر نزدیکتر باشد، مقدار شبیه سازی شده و واقعی، انحراف کمتری از یکدیگر دارند {۳۹۹}. برای محاسبه ریشه های خطا از رابطه ۶ استفاده می شود.

$$U^m + U^s + U^c = 1 \quad (6)$$

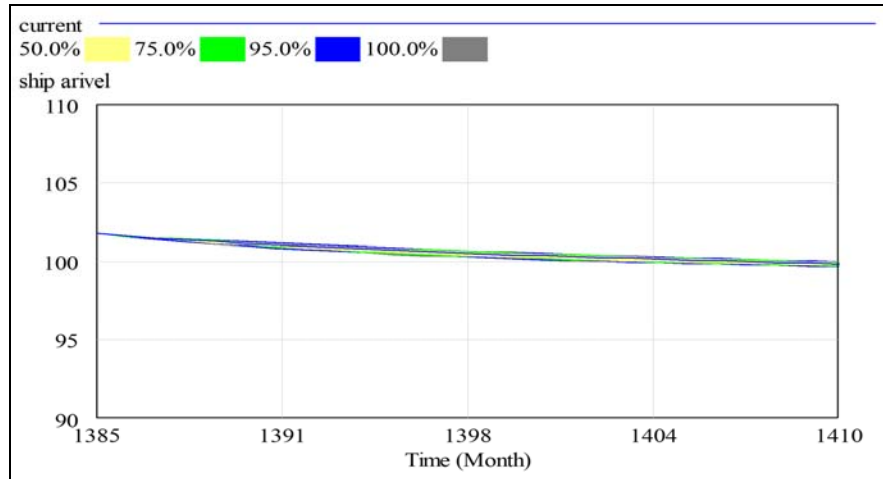
در حالت ایده ال  $U^s=U^m=0$  و  $U^c=1$  خواهد شد و مجموع این خطاها باید برابر یک باشد (استرمن، ۲۰۰۰). میزان خطا در این تحقیق همانطور که جدول ۴ نشان می‌دهد در سطح قابل قبولی است.

جدول ۴. نتایج آزمون محاسبه میزان خطا

Test	Ship arrival	Gate Capacity
RMSPE	0.2232	0.2077
UT	0.1859	0.1278
Um	0.6621	0.0009
Us	0.0862	0.0276
Uc	0.2517	0.9715
Uc+Us +Um	1	۱



شکل ۱۱. تغییرات موجودی انبار نسبت به نوسان‌های زمان رسوب کالا



شکل ۱۲. تغییرات شناور های ورودی نسبت به نوسان های زمان رسوب کالا

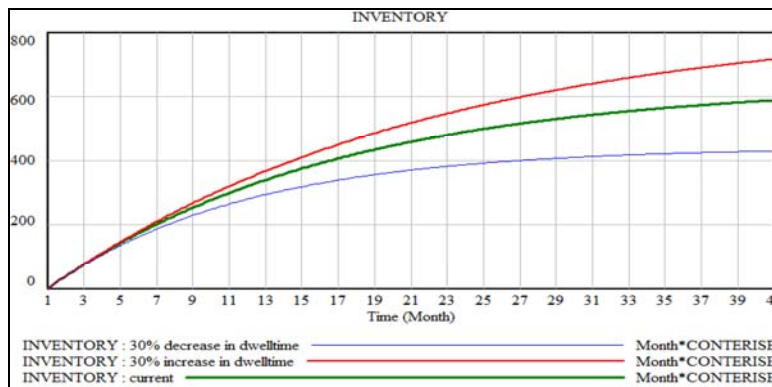
درحالیست که واکنش موجودی اسکله نسبت به تغییرات زمان ماندگاری کالا بی تفاوت است. دلیل این امر می‌تواند حاکی از این مسئله باشد که ورود شناور به یک بندر و تخلیه کالا به سیاست‌های کلان و مجزا از سیاست داخلی بندر بستگی دارد. همانطور که ذکر شد زمان ماندگاری کالا با توجه به سیاست‌های بندر کاهش یا افزایش می‌یابد. در صورتی که ترافیک کالا زیاد و فضای لازم برای نگهداری کالا کم باشد؛ مدیران بندر تصمیم می‌گیرند با کاهش زمان ماندگاری کالا هر چه سریعتر ترافیک بار را کم کنند. با بررسی زمان ماندگاری کالا مشاهده شد که اگر این زمان به نصف کاهش یابد نتیجه رفتار متغیر موجودی انبار در شکل زیر (خط ممتد) به صورتی که مشاهده می‌شود کاهش می‌یابد (شکل ۱۴).

### سناریوهای مورد بررسی

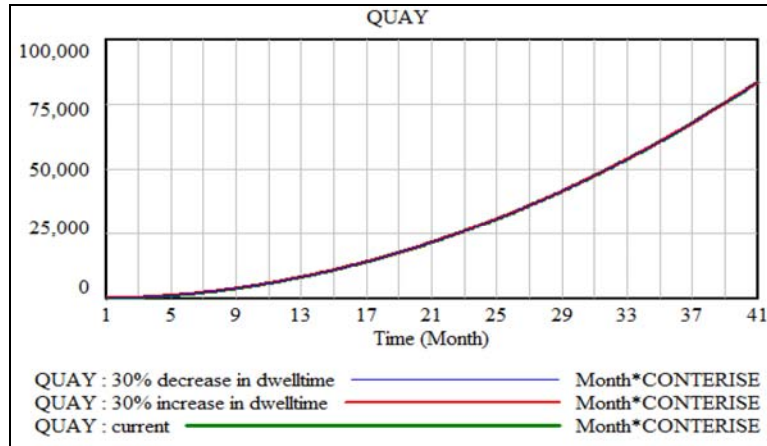
در مدل‌های پویایی سیستم می‌توان آزمایش‌هایی را به منظور مقایسه استراتژی‌های مدیریتی مختلف انجام داد. در این مقاله برای پیش بینی رفتارهای محتمل الگو در آینده دو سناریو پیشنهاد شده است.

### سناریوی اول: کاهش زمان رسوب کالا

از آنجایی که مهمترین متغیر اثر گذار بر انبار، زمان رسوب کالا است، طراحی سناریو بر اساس رفتار حاصل از تغییر آن طراحی شده است. بدین منظور، رفتار موجودی انبار در شرایط افزایش و کاهش ۳۰ درصدی زمان رسوب کالا شبیه سازی شده است. شکل ۱۳ نشان می‌دهد که سطح موجودی انبار با زمان رسوب کالا تغییر می‌یابد بطوریکه با کاهش زمان ماندگاری کالا، سطح موجودی انبار کاهش می‌یابد. این



شکل ۱۳. رفتار متغیر موجودی انبار پس از تغییر زمان ماندگاری کالا

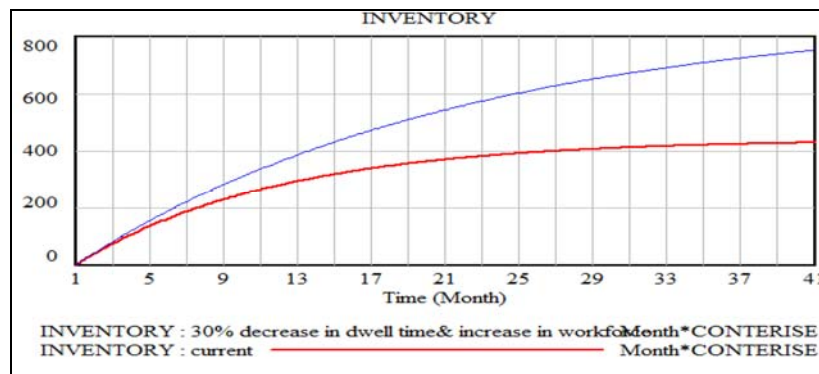


شکل ۱۴. رفتار متغیر اسکله پس از تغییر زمان ماندگاری کالا

شبیه سازی الگو برای سال‌های آینده نشان می‌دهد کاهش میزان رسوب کالا در کاهش ترافیک انبار، بیشتر از اثر افزایش نیروی کار در کاهش ترافیک انبار است (شکل ۱۵). در این سناریو به منظور شناسایی میزان تاثیر گذاری متغیرها، ماندگاری کالا و نیروی کار به میزان ۳۰ درصد به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد.

### سناریو دوم تغییرات همزمان ماندگاری کالا و نیروی کار

در این سناریو، وضعیتی بررسی می‌شود که در آن همزمان ماندگاری کالا به میزان ۳۰ درصد کاهش و تعداد نیروی کار ۳۰ درصد افزایش می‌یابد.



شکل ۱۵. تغییرات همزمان نیروی کار و ماندگاری کالا بر ترافیک انبار

### ۵- نتیجه گیری

اهمیت خواهد بود. عملیات انبارش در محیط‌های سر پوشیده یا باز میتواند نقش بسزایی در بالا بردن راندمان بازدهی اسکله‌ها و در مجموع بهبود زمانی شاخص‌های بندر ایفاء نماید. لذا داشتن اطلاعات در خصوص میزان رسوب کالا و سنجش ظرفیت پذیرش کالا در محوطه‌ها و انبارها می‌تواند نقش قابل توجهی را در اعمال مدیریت کار آمد عملیاتی بویژه در بخش انبارها ایفاء نماید و پیش‌بینی‌های لازم را جهت انجام برنامه‌ریزی‌های آتی در خصوص توسعه محوطه‌ها و انبارها

زمان ماندگاری کالا همواره یکی از فاکتورهای مهم در راستای ارزیابی عملکرد بنادر محسوب می‌شود. مواردی که باعث طولانی شدن توقف کالا در بندر می‌شود نیز متنوع است. مالکان کشتی زمانی به سود بیشتر خواهند رسید که بتوانند به موقع به تعهدات خود مبنی بر حمل کالا عمل نمایند. این موضوع با انجام تخلیه و بارگیری سریع و آزاد شدن به موقع کشتی و کالا تحقق پیدا می‌کند. برای صاحبان و اجاره کنندگان کشتی، کوتاه شدن مدت توقف کشتی در بنادر بسیار حائز

تجزیه و تحلیل انجام شده نشان می‌دهد نقش کاهش ۳۰ درصدی زمان ماندگاری کالا در نوسان‌های ترافیک کالا بسیار اثرگذارتر از افزایش ۳۰ درصدی نیروی کار است. یکی از سیاست‌های بدون هزینه‌ای که در حال حاضر مدیران جهت کنترل ترافیک کالا در بندر می‌توانند استفاده کنند تخصیص زمان مناسب برای ماندگاری کالا در انبار است. عواملی همچون افزایش نیروی کار و تجهیزات از قبیل یدک‌کش می‌تواند بر مقدار فضای انبار تاثیرگذار باشد که منجر به تحمیل هزینه اضافی به بندر است.

متناسب با روند ورود کالا فراهم آورد. در این مقاله ضمن تعیین علل افزایش ماندگاری کشتی و رسوب کالا، میزان اثر گذاری آنها را بر عملکرد انبار تا سال ۱۴۱۰ شبیه سازی شده است. نتایج نشان می‌دهد ترافیک انبار حساسیت زیادی به میزان ماندگاری کالا نشان می‌دهد؛ در صورتی که با توجه به شبیه سازی انجام شده این موضوع برای متغییر موجودی اسکله کمتر دیده می‌شود. افزایش ۳۰ درصدی زمان ماندگاری کالا، هیچ تاثیری بر ترافیک انبار تا دوره هفت ندارد و پس از آن با یک نرخ کاهنده در حال افزایش است.

## ۶-مراجع

- Askari, A., Yousefi, H., & Jafari, H. (2014). Cargo And Container D Well Time Reduction: Effective Strategy To Increase The Efficiency Of Iran's Ports. *Arabian Journal of Business and Management Review (Kuwait Chapter)*, 3(10), 370-377.
- Caballini, C., Sacone, S., & Siri, S. (2012, July). The port as a system of systems: A system dynamics simulation approach. *In 2012 7th International Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*, IEEE. 191-196.
- Coyle, R. G. (1997). System dynamics modelling: a practical approach. *Journal of the Operational Research Society*, 48(5), 544-544.
- Kourounioti, I., Polydoropoulou, A., & Tsiklidis, C. (2016). Development of models predicting dwell time of import containers in port container terminals—an Artificial Neural Networks application. *Transportation Research Procedia*, 14, 243-252.
- Oztanriseven, F., Pérez-Lespier, L., Long, S., & Nachtmann, H. (2014). A review of system dynamics in maritime transportation. *In IIE Annual Conference. Proceedings, Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE)*. 2447-2448.
- FORD, A. (2010) Modeling the environment, Washington DC, USA, Island Press.
- Haralambides, H., & Gujar, G. (2011). The Indian dry ports sector, pricing policies and opportunities for public-private partnerships. *Research in Transportation Economics*, 33(1), 51-58.
- Huynh, N. N. (2005). Methodologies for reducing truck turn time at marine container terminals. *The University of Texas at Austin*.
- رسولی سرابی، اسحاق. و بهرامی نیا، غلامعباس (۱۳۸۸). بررسی علل رسوب کانتینر در اسکله شهید رجایی و ارایه راهکارها جهت حل مشکلات. *یازدهمین همایش صنایع دریایی*. آبان ماه. جزیره کیش. ۱-۵.
- کاظمی آسیابر علیرضا، سعیدی سیدناصر، نورامین امیرسعید (۱۳۹۰). بررسی آماری عوامل موثر بر ترخیص کانتینر در بنادر ایران. *اقیانوس شناسی*. (۸)، ۶۸-۶۱.
- شهشهانی، مجید (۱۳۶۱). *کندی عملیات ترخیص چه تاثیری بر تراکم کالاها در انبار دارد*. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- گلپهار حقیقی، امین، و طالبی زاده، احمد (۱۳۹۵). بررسی و شناسایی عوامل موثر بر رسوب کانتینر در بندر بوشهر و ارایه راهکارهای مناسب. *همایش ملی صنایع دریایی ایران*.
- موسوی حقیقی، محمد هاشم و تاجیک، مهدی (۱۳۹۳). *شبیه سازی فرایند اشاعه محصولات نوین با رویکرد پویایی های سیستم*. مدیریت نوآوری. سال سوم. شماره ۳. ۷۷-۹۹.
- موسوی حقیقی، محمد هاشم، خلیفه، مجتبی، صفایی، بهزاد، و صابری، حامد (۱۳۹۵). *شبیه سازی قیمت سهام از منظر عوامل داخلی و خارجی موثر بر سیستم با استفاده از رویکرد پویایی شناسی سیستمی*. مدیریت دارایی و تامین مالی، ۴ (پیاپی ۱۵) ۷۹-۹۸.
- Alli, I. (2015). Dwell Time for Import Transit Containers at Dar es Salaam Port: An Analysis of the Role of Free Storage time (Doctoral dissertation), *The Open University of Tanzania*.

- Refas, S., & Cantens, T. (2011). Why does cargo spend weeks in African ports? The case of Douala, Cameroon. The Case of Douala, Cameroon (February 1, 2011). *World Bank Policy Research Working Paper*, (5565).
- Refas, S., & Cantens, T. (2011). Why does cargo spend weeks in African ports? The case of Douala, Cameroon. *The World Bank*.
- Sargent, R. G. (2013). Verification and validation of simulation models. *Journal of simulation*, 7, 12-24.
- Sauri, S., & Martin, E. (2011). Space allocating strategies for improving import yard performance at marine terminals. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(6), 1038-1057.
- Sterman, J. (2000). Instructor's manual to accompany business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world. *McGraw-Hill*.
- Sterman, J. D. (2006). Learning from evidence in a complex world. *American Journal of public health*, 96(3), 505-514.
- Munitic, A., Simundig, S., & Dvornik, J. (2003, July). System dynamics modelling of material flow of the port cargo system. *In Proceedings of the 21th International Conference of the System Dynamics Society*, 20-24.
- Kirkwood, C. W. (1998). System dynamics methods: A quick introduction. *College of Business*, Arizona State University, 126.
- Kigore, T., Raballand, G., & Ittmann, H. W. (2011). Cargo dwell time in Durban: Lessons for sub-Saharan African ports. *World Bank Policy Research Working Paper*, (5794).
- Liu, L., & Yue, C. (2013). Investigating the impacts of time delays on trade. *Food policy*, 39, 108-114.
- Lu, J. (2008). Improving Efficiency in Transport Supply Chain. *An analysis of Container Dwell time Reduction at APM Terminals Rotterdam*.
- Maani, K. E., & Cavana, R. Y. (2000). Systems thinking and modelling: Understanding change and complexity. *Great Britain*.
- Merckx, F. (2005). The issue of dwell time charges to optimize container terminal capacity. *In Proceedings IAME 2005 Annual Conference*, Limassol, Cyprus, 23-25 June (CD-ROM).
- Moini, N., Boile, M., Theofanis, S., & Laventhal, W. (2012). Estimating the determinant factors of container dwell times at seaports. *Maritime economics & logistics*, 14, 162-177.
- Nicoll, J. (2007, October). Innovative Approaches to Port Challenges-Dwell Time and Transit Tim Management. *In International Convention of Norfolk Virginia* (Vol. 4).
- Raballand, G., Refas, S., Beuran, M., & Isik, G. (2012). Why cargo dwell time matters in trade.

# **A Systematic Model of Inventory optimization at Seaports based on the System Dynamics Approach**

*Damoon Razmjooei, Assistant Professor, Faculty of Maritime Economics and Management, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran.*

*Mohammad Hashem Mousavi Haghighi, Assistant Professor, Retirement of the Agriculture and Natural Resources Research of Fars Province, Shiraz, Iran.*

*Mohammad Tahamtani, Ph.D., Grad., Management Dept., Faculty of Economics and Management, University of Shiraz, Shiraz, Iran.*

*Mojtaba Abbaspour, Assistant Professor, Faculty of Maritime Economics and Management, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran.*

*E-mail: damoonrazmjooei@gmail.com*

Received: February 2024- Accepted: June 2024

## **ABSTRACT**

Port operations and cargo handling processes involve integrated activities in which any delay or stoppage results in a bottleneck in the port process. This in turn leads to a dramatic escalation in ship and cargo dwell times at anchorage, seaport terminals, or exit gates. Increasing cargo dwell time not only depreciates port equipment but also decreases port efficiency dramatically. The objective of this paper is to develop a modeling approach using the concept of System Dynamics (SD) to simulate variables affecting inventory optimization at Imam Khomeini seaports. To find proper actions by which seaports can optimize the inventory, dynamic of various variables such as dwell time, and the number of human resources and equipment simulated during 2006 to 2031. The overall results show that warehouse traffic is highly sensitive to cargo dwell time, while this is less for the quay inventory variable. The analysis shows that the 30% reduction of cargo dwell time in inventory fluctuations is much more than the 30% increase in the workforce. One solution could be increasing storage area which, apart from being a very expensive investment, maybe not be feasible due to space limitations. Consequently, terminal operators are trying to decrease average dwell time. In order to do so, the main factors which influence the number of days a container stays in the terminal need to be determined.

**Keywords:** Inventory Optimization, Dwell Time, System Dynamics Model