مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۴۰۲)
دوره‌ی ۳۹، شماره‌ی ۲، صص. ۸۷-۹۸، (پژوهشی)

Original Article

مدل‌سازی سرمایه‌گذاری در بنادر با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها (مطالعه موردی: ترمینال کانتینری بندر شهید رجایی)

نیکو رزاقی (کارشناس‌ارشد)
نسیم نهاوندی* (استاد)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس

در این تحقیق، مدل پویای سرمایه‌گذاری در بنادر، با استفاده از رویکرد پویایی‌های سیستم،[1] جهت ارزیابی سیاست‌های مدیریتی که منجر به بهبود توان عملیاتی بندر، افزایش درآمد و ظرفیت کشتی‌های ورودی به بندر می‌شود، ارائه شده است و با استفاده از نرم‌افزار ونسیم[2] اجرا گردید. اعتبار مدل پیشنهادی با استفاده از سوابق موجود از داده‌های واقعی در بندر شهید رجایی در بازه زمانی ۱۳۹۷ – ۱۳۸۸، که از طریق مصاحبه با کارشناسان سازمان بنادر و دریانوردی جمع‌آوری گردید، مورد تأیید قرار گرفته است. سیاست‌های پیشنهادی اتخاذ شده جهت دستیابی به اهداف سازمان عبارتند از: افزایش سرمایه‌گذاری در ظرفیت ترمینال کانتینری، کاهش تعرفه خدمات بندری و افزایش عمق اسکله. یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که نتایج حاصل از شبیه‌سازی سیاست‌های پیشنهادی مؤثر واقع شده و افزایش مقادیر متغیرهای کلیدی مدل از جمله توان عملیاتی، ظرفیت، درآمد، تقاضا و ظرفیت کشتی‌های ورودی به ترمینال کانتینری را در پی داشته است.

واژگان کلیدی: بندر شهید رجایی، پویایی‌شناسی سیستم، ترمینال کانتینری، توان عملیاتی، سرمایه‌گذاری.

n.razzaghi@modares.ac.ir
n_nahavandi@modares.ac.ir

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر افزایش تقاضای حمل‌ونقل موجب افزایش تعداد و اندازه کشتی‌ها شده است. کشتی‌های بزرگ‌تر با ظرفیت باربری بالاتر، چالش‌هایی را برای ساختار پهلوگیری و فعالیت‌های عملیاتی و بندری ایجاد می‌کنند. از این رو، بنادر نیازمند بهبود ساختار پهلوگیری، افزایش ظرفیت تجهیزات جابه‌جایی و کارآمدترکردن عملیات جابه‌جایی می‌باشند.[1] با در نظرگرفتن این اصل که ساخت‌وساز اسکله‌های جدید سرمایه‌بر و زمان‌بر می‌باشد، انجام این امر در بنادر به منظور افزایش ظرفیت آن، توصیه نمی‌گردد. امروزه این اعتقاد وجود دارد که برنامه‌ریزی عملیات، بررسی توان عملیاتی و بهبود راندمان کار، نقش به‌سزایی در افزایش ظرفیت‌های بنادر ایفا می‌نمایند.[2]

امروزه بنادر به‌عنوان گره استراتژیک سیستم حمل‌ونقل، نقشی به مراتب پررنگ‌تر ازگذشته پیدا کرده‌اند. بنابراین، توسعه بنادر به‌عنوان یک پارامتر تأثیرگذار در اقتصاد یک کشور و زنجیره تأمین کالا حائز اهمیت می‌باشد. همچنین، بنادر در جوامع پیشرفته، نقش مهمی را در پیشرفت صنایع، در سطح شهری و اجتماعی، ایفا می‌کنند که تولید ناخالص ملی و ارزش افزوده ایجاد شده توسط بنادر این موضوع را تأیید می‌کند.[3] در همین راستا، وجود برنامه‌ای هدفمند که با در نظرگرفتن همه‌ی عوامل مؤثر بر سیستم حمل‌ونقل دریایی، به بررسی پیامدهای تصمیمات مختلف مدیران قبل از اجرای آنها می‌پردازد، ضروری است. این برنامه باید به جلوگیری از اتلاف منابع و تجهیزات کمک کند.

مجتمع بندری شهید رجایی با ۲۴۰۰ هکتار وسعت، از ظرفیت پذیرش ۱۰۰ میلیون تن کالا در سال برخوردار است. این مجتمع دارای ۴۰ پست اسکله است و بزرگترین و پیشرفته‌ترین ترمینال کانتینری کشور را در اختیار دارد. پس از افتتاح فاز دوم طرح توسعه، این ترمینال از ظرفیت ۶ میلیون تی. ای. یو کانتینر در سال برخوردار خواهد شد. حجم گسترده‌ای از عملیات جابجایی کالای عمومی، خصوصاً محصولات فولادی، فله خشک، فله مایع و فرآورده‌های نفتی خام، در این بندر انجام می‌شود. این مجتمع عظیم بندری در نقطه مرکزی نوار ساحلی جنوب کشور و در استان هرمزگان با بیش از ۲ هزار و ۳۰۰ کیلومتر مرز دریایی واقع شده است. به واسطه قرار داشتن در جوار صنایع بزرگ این استان و استان‌های تولیدی کشور، همچنین برخورداری

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۴۰۱/۲/۱۱، اصلاحیه ۱۴۰۱/۸/۱۰، پذیرش ۱۴۰۱/۹/۱.

استناد به این مقاله:
رزاقی، نیکو، و نهاوندی، نسیم، ۱۴۰۲. مدل‌سازی سرمایه‌گذاری در بنادر با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها (مطالعه موردی: ترمینال کانتینری بندر شهید رجایی). دانشکده‌ی مهندسی صنایع و مدیریت شریف، ۳۹(۲)، صص.۸۷-۹۸. DOI:10.24200/J65.2022.59863.2283

از زیرساخت‌های مناسب حمل‌ونقل و اتصال به شبکه بین‌المللی راه آهن، هوایی و جاده تاریخی ابریشم، بیش‌ترین نقش در صنعت حمل‌ونقل را ایفا می‌کند. این مجتمع با بیش از ۸۰ بندر معروف جهان از طریق ۳۵ خط برتر کانتینری دنیا تبادل کالا و مراوده بازرگانی دارد. هدف این پژوهش، ارائه مدل سرمایه‌گذاری در ترمینال کانتینری بندر شهید رجایی با رویکرد پویایی‌های سیستم است. این مدل به بررسی تأثیر سیاست‌های مختلف در حوزه‌ی کیفیت خدمات، درآمد و ظرفیت کشتی‌های ورودی به بندر می‌پردازد.

۲. مبانی و چارچوب نظری تحقیق

سرمایه‌گذاری نوعی روش تأمین مالی می‌باشد که طی آن تأمین‌کننده‌ی منابع مالی با قبول ریسک ناشی از به‌کارگیری منابع مالی در فعالیت یا طرح مورد نظر، انتظار برگشت اصل و سود منابع سرمایه‌گذاری شده را از عملکرد اقتصادی طرح یا فعالیت اقتصادی مورد سرمایه‌گذاری دارد.

رویکرد جذب سرمایه‌گذاری در کشور به دلایل ذیل از اهمیت به‌سزایی برخوردار می‌باشد:[۴]

- نیل به اهداف برنامه‌های توسعه اقتصادی کشور؛
- تأمین بخشی از منابع مالی مورد نیاز برای ایجاد اشتغال گسترش صادرات غیرنفتی؛
- کاهش شکاف فنّاوری در کشور؛
- بالا رفتن حاشیه امنیت ملی؛
- ارتقا دانش و مهارت‌های مدیران؛
- افزایش بهره‌وری نیروی کار؛
- افزایش کیفیت و کاهش قیمت کالای ساخت داخل؛
- افزایش درآمدهای دولت؛
- ایجاد تحرک در صنایع بالادستی و پایین‌دستی.[۴]

هنگام تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری، سرمایه‌گذار گزینه‌های سرمایه‌گذاری جایگزین زیادی در دسترس دارد. وظیفه سرمایه‌گذار، انتخاب یک سرمایه‌گذاری است که به بهترین نحو اهداف پروژه سرمایه‌گذاری را محقق سازد. برای امکان‌پذیر شدن سرمایه‌گذاری، ایجاد سندی که شکل پروژه سرمایه‌گذاری را برنامه‌ریزی و به ویژه ترسیم کند، امری رایج است. برای انتخاب سرمایه‌گذاری که به بهترین نحو اهداف پروژه را برآورده می‌کند، لازم است پروژه ارزیابی شود. روش‌های متعددی برای ارزیابی اثربخشی یک پروژه سرمایه‌گذاری وجود دارد، اما نتایج حاصل از این روش‌ها معمولاً متناقض هستند. این امر می‌تواند توانایی‌های تصمیم‌گیری سرمایه‌گذار را با مشکل مواجه کند.

هر سازمانی هنگام سرمایه‌گذاری با یکی از سخت‌ترین تصمیمات در حوزه تجارت مواجه می‌شود. اتخاذ تصمیم نادرست در اجرای برخی سرمایه‌گذاری‌ها ممکن است عواقب فاجعه‌بار بلندمدتی برای سازمان به دنبال داشته باشد. انتخاب سرمایه‌گذاری یک چالش بسیار دشوار است و نیاز به در نظرگرفتن جنبه‌های مختلف دارد. مشکل اصلی در فرایند تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاری این است که این تصمیمات اغلب توسط شرکت‌های مدیریتی براساس تجربیات شخصی یا شهود آنها اتخاذ می‌شوند و به ندرت از روش‌های تحلیلی و علمی برای تصمیم‌گیری صحیح استفاده می‌شود. بنابراین، تصمیمات اتخاذ شده به دستاورد اهداف سازمان کمک نمی‌کند و اغلب این تصمیمات عواقب منفی برای سازمان به همراه دارد.

اتخاذ تصمیم در زمینه سرمایه‌گذاری، یکی از مهم‌ترین اقدام مقدماتی در برنامه‌ریزی یک سرمایه‌گذاری است. در فرایند تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاری، ابتدا باید ایده‌ها را تعریف کرد و سپس انواع سرمایه‌گذاری‌های احتمالی را برای تحقق این ایده‌ها تعیین کرد که همگی با اهداف سازمان هماهنگ باشند.

برنامه‌ریزی سرمایه‌گذاری سازمان با استفاده از روش ارزیابی اثربخشی پروژه‌های سرمایه‌گذاری انجام می‌شود. این روش‌ها به دو گروه روش‌های استاتیک و روش‌های دینامیکی تقسیم می‌شوند. روش‌های ایستا اغلب در مطالعات قبل از سرمایه‌گذاری استفاده می‌شود، زیرا محاسبه آنها آسان است. مشکل این روش‌ها این است که نتایج آنها نشان‌دهنده تحقق سرمایه‌گذاری در یک سال است که به آن سال نمایندگی می‌گویند. اما روش‌های پویا، ارزیابی کاملی از دوره سرمایه‌گذاری ارائه می‌دهند و تنها معرف یک سال نیستند.[۵]

بررسی تطبیقی اقتصادی کشورهای مختلف جهان حکایت از این دارد که توسعه پایدار در این کشورها همواره با سرمایه‌گذاری همراه بوده است. این پدیده شگرف اقتصادی، امروزه در سطح جهان به ابعاد چشم‌گیری دست یافته است. ایران در منطقه‌ای از جهان قرار گرفته است که موقعیت ممتاز راهبردی و ژئواکونومیک آن بر هیچکس پوشیده نیست. از همین رو، استعداد پیشرفت و صنعتی شدن و برخورداری از زندگی مرفه و شایسته برای مردم، از هر لحاظ امکان‌پذیر است. سرزمینی وسیع با آب و هوای گوناگون، منابع انرژی فراوان، معادن سرشار زیرزمینی، نیروی انسانی جوان و جویای کار، سرمایه و زیربنای لازم برای رشد و توسعه مدیریتی توانا همراه با اتخاذ سیاست‌های مناسب اقتصادی می‌توانند از این موقعیت ویژه، کشوری ثروتمند و پیشرو صنعتی به وجود آورد.

در سال‌های اخیر و با رشد تقاضا برای بنادر کانتینری در خاورمیانه و جنوب آسیا، لزوم سرمایه‌گذاری برای پذیرش کشتی‌های با ظرفیت بیشتر واضح و روشن می‌باشد. با توجه به اینکه سرمایه‌گذارهای انجام شده در زیربناها و تسهیلات بندری و کانتینری خاورمیانه بسیار قابل توجه می‌باشد، خطرهایی که این منطقه و سرمایه‌گذاری‌های انجام شده را تهدید می‌کند، وجود ظرفیت‌های اضافی می‌باشد. بنابراین، توسعه ترمینال‌های جدید می‌بایست متناسب با رشد واقعی تقاضا باشد.[۶]

اولین تلاش‌ها برای استفاده از کانتینر به منظور حمل کالا به اوایل قرن بیستم بر می‌گردد. پس از جنگ جهانی دوم، سازمان دفاع آمریکا نیروهای این کشور را ترغیب به استفاده از کانتینر نمود. این جعبه‌ها که کانکس کانتینر نامیده می‌شدند، جعبه‌های کوچکی با ابعاد ۶ × ۶ × ۶ فوت بودند که در اواخر دهه ۶۰ میلادی جای خود را به کانتینرهای امروزی با اندازه‌های ۲۰، ۴۰ و ۴۵ فوت دادند. در طول سالیان گذشته، ترمینال‌های کانتینری نقش مهمی در حمل‌ونقل دریایی داشته‌اند. به‌طوری که مجموع تخلیه و بارگیری کانتینر در بنادر ایران، از ۸۰۹/۹۰۵ تی.ای.یو در سال ۱۳۸۱ به ۱/۸۲۳/۷۰ تی. ای.یو در سال ۱۳۹۹ رسیده است.

هر تغییری که در بخش حمل‌ونقل رخ می‌دهد، ساختار عملکردی و سازمانی پایانه‌های اصلی بنادر را متحول کرده و آنها را به مراکز واقعی متعلق به زنجیره لجستیک تبدیل می‌کند. البته این موضوعات زمانی که برای سنجش پویایی و پیچیدگی باشند، روی ارزیابی کارایی و بهره‌وری تأثیر می‌گذارند.[۷]

چونگ و جئون، در سال ۲۰۲۱، جهت پیش‌بینی حجم بار جابه‌جا شده توسط بنادر کره شمالی، از رویکرد پویایی‌های سیستم استفاده کردند. براساس نتایج حاصل از این پژوهش، بندری که بیشترین حجم جابه‌جایی کالا تا سال ۲۰۵۰ را خواهد

داشت، شناسایی گردید و بیشترین حجم کالاهای جابه‌جا شده مربوط به کانتینر و سیمان خواهد بود.[۸]

بووی و همکاران، در سال ۲۰۲۱، به تجزیه و تحلیل پویایی‌های سیستم برای اقدامات دولت جهت کنترل ترافیک بندر کانتینری شانگهای پرداختند. سیاست‌های در نظر گرفته شده در این مطالعه عبارتند از: افزایش زیرساخت‌های حمل‌ونقل، حمل‌ونقل چندوجهی، استراتژی هوشمند و ارتباطات داخلی. در نهایت، یک چارچوب سیاستی با هدف بررسی مزایا و معایب این چهار سیاست پیشنهاد گردید.[۹]

جیاچن‌سان و همکاران، در سال ۲۰۲۰، به مدل‌سازی سرمایه‌گذاری در ایمنی بندر پرداختند. هدف این تحقیق، بهبود سطح ایمنی عملیات بندر از طریق تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر آن و بررسی تعاملات بین سرمایه‌گذاری ایمنی و سطح ریسک سیستم، براساس رویکرد پویایی‌های سیستم بوده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که افزایش مجموع سرمایه‌گذاری ایمنی، بهبود سرمایه‌گذاری مدیریت ایمنی پرسنل و تقویت اثر اجرایی سرمایه‌گذاری می‌تواند درجه امنیت بندر را تا حدودی بهبود بخشد.[۱۰]

جوئی و ژائو، در سال ۲۰۲۱، توسعه پایدار اقتصاد بندر را براساس فنّاوری‌های حسگر هوشمند شبکه‌ای و پویایی‌های سیستم مورد مطالعه قرار دادند. چهار زیرسیستم جمعیت، محیط زیست، منابع و اقتصاد برای این تحقیق در نظر گرفته شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد در ۲۰ سال آینده تعداد کل جمعیت، تعداد جمعیت شاغل و نرخ اشتغال در شهرهای بندری رو به افزایش خواهد بود و پس از سال ۲۰۲۵ انتشار آلاینده‌ها در هر سال کاهش یافته و مقدار کل منابع به‌طور مستمر کاهش می‌یابد و میزان استفاده از منابع می‌تواند تا ۸۰ درصد افزایش یابد. بنابراین، مدل پویایی‌های سیستم توسعه پایدار اقتصاد بنادر مبتنی بر الگوریتم هوشمند و فنّاوری حسگرها می‌تواند به‌طور مؤثر روند اقتصادی آینده را پیش‌بینی کند و به تنظیم استراتژی‌ها و ارتقای بیشتر توسعه پایدار اقتصاد بندر کمک کند.[۱۱]

دمیتری و همکاران، در سال ۲۰۱۹، کارایی عملیاتی و پایداری پارامترهای اصلی بندر خشک را با رویکرد پویایی‌های سیستم مورد مطالعه قرار دادند. کارایی عملیاتی، پایداری و پارامترهای اصلی یک بندر خشک توسط سیستم توسعه‌یافته ارزیابی می‌شود. برای درک کامل پایداری پارامترهای اصلی یک بندر خشک، این پژوهش به شرح مدل‌های شبیه‌سازی سیستم توسعه‌یافته پرداخته است. مدل توسعه‌یافته، ابزاری کاربردی برای ارزیابی قابلیت اطمینان فرضیه‌ها در مورد روابط متقابل عملکردی بین پارامترهای اصلی بندر خشک و همچنین ارزیابی پایداری سیستم است. در نهایت، به منظور توسعه روابط عملکردی بین پارامترهای اصلی، داده‌ها از چندین بندر خشک در کشور چین جمع‌آوری شده‌اند. مدل پویایی سیستم چند عاملی توسعه‌یافته، در مطالعه موردی بندر خشک واقع در ژجیانگ چین تأیید شده است.[۱۲]

دمارکو و رافل، در سال ۲۰۰۷، از روش پویایی‌های سیستم برای ارزیابی ضرورت و ارزش ایجاد یک بندر لجستیک جدید در شمال غربی ایتالیا استفاده کردند. هدف این مطالعه، تعیین درجه تمرکز یا تقسیم فضاهای لجستیک و نحوه تنظیم سرمایه‌گذاری بین دو حوزه جغرافیایی مختلف بود. تجزیه و تحلیل این شبیه‌سازی نشان می‌دهد که بهترین نتایج برای سیستم کلی زمانی حاصل می‌شود که سرمایه‌گذاری‌های به‌طور مساوی بین هر دو حوزه‌ی جغرافیایی تقسیم شود.[۱۳]

کارلوچی و سیرا، در سال ۲۰۰۹، با استفاده از رویکرد پویایی‌های سیستم، به مدل‌سازی سرمایه‌گذاری در بنادر با هدف دستیابی به سود بیشتر پرداختند. آنها در پژوهش خود به تأثیر مثبت بنادر بر توزیع درآمد و کلیه فعالیت‌های اقتصادی منطقه اشاره کردند. بنادر باعث تسریع مکانیسم توزیع کالا و خدمات، کاهش هزینه‌های تجاری، ایجاد فرصت‌های جدید بازار و افزایش کارایی سیستم اقتصادی می‌شوند. در حقیقت، پویایی زیرساخت‌های بندر، دسترسی به طیف گسترده‌ای از کالاها و خدمات را تضمین می‌کند و این امر موجب افزایش رقابت در کل سیستم اطراف یک بندر می‌شود و تقاضا برای کالاها و خدمات مورد نیاز برای زیرساخت‌ها به طرز مثبتی افزایش می‌یابد. بنابراین، بنادر می‌توانند به‌عنوان یک دارایی استراتژیک برای منطقه‌ای که در آن قرار دارند، در نظر گرفته شوند.[۱۴]

فو و همکاران، در سال ۲۰۱۸، در مطالعه‌ای به منظور بررسی تأثیر سیستم‌های پشتیبانی‌کننده بندر روی بنادر کانتینری، از روش پویایی‌های سیستم استفاده کردند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که مدل ارائه شده مؤثر بوده و عناصر سرویس پشتیبانی از بندر تأثیر مثبتی بر توسعه بندر کانتینری دارد و می‌تواند باعث افزایش توان عملیاتی بندر شود.[۱۵]

توکان و چان، در سال ۲۰۱۸، به ارزیابی زنجیره حمل‌ونقل داخلی کانتینر پرداختند. در این مطالعه، با استفاده از روش پویایی‌های سیستم، مدلی برای ارزیابی تأثیر این استراتژی‌ها بر زنجیره حمل‌ونقل کانتینر ارائه شد. استراتژی‌های مطرح شده در این مطالعه عبارتند از سرمایه‌گذاری در پسکرانه بندر، استفاده از فنّاوری جدید برای کاهش زمان پردازش اسناد و ترکیبی از هر دو استراتژی مطرح شده. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان داد در حالی که استراتژی اول، زمان اقامت کانتینرها را بیش از شش روز کاهش می‌دهد، اما هیچ تأثیری روی مدت زمان تحویل کانتینرها ندارد. استراتژی دوم در کاهش مدت زمان تحویل کانتینرها بسیار مؤثر است، اما هیچ تأثیری در ظرفیت ترمینال کانتینری ندارد. و در نهایت، استراتژی ترکیبی بیشترین کاهش در زمان تحویل کانتینرها را داشته است.[۱۶]

سوارز و نتو، در سال ۲۰۱۶، مدلی برای ظرفیت قابل پیش‌بینی یک ترمینال کانتینری با رویکرد پویایی‌های سیستم ارائه کردند. در این مطالعه، رفتار پویای بین تقاضا، ظرفیت و بهره‌وری خدمات ترمینال کانتینری مانند پذیرش، ذخیره‌سازی و توزیع کانتینر، برای پیش‌بینی عملکرد آنها در مواجهه با تقاضا در طول زمان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از مدل ارائه شده، می‌تواند به پیش‌بینی وضعیت آینده ترمینال کانتینری کمک کند. این مدل، قادر به طرح‌ریزی ظرفیت مورد نیاز پایانه‌ها به منظور تأمین تقاضا در طول زمان می‌باشد.[۱۷]

لی و وانگ، در سال ۲۰۱۳، تحلیل اقتصادی سهم بنادر در اقتصاد منطقه را مورد بررسی قرار دادند. آنها یک تحلیل ورودی/خروجی و یک مدل اقتصادسنجی به روش پویایی‌های سیستم را توسعه داده و نشان دادند که روش یکپارچه آنها یک ابزار قدرتمند برای تحلیل اقتصاد بندر است.[۱۸]

فرناندز و همکاران، در سال ۲۰۰۴، به مطالعه تأثیر اقتصادی بندر سویل بر اقتصاد استان سویل، به روش پویایی‌های سیستم پرداختند. مدل ارائه شده در این پژوهش، فرآیند تصمیم‌گیری کشتی‌های حامل کالا را شبیه‌سازی می‌کند که مقصد نهایی آنها استان سویل است و باید در بندر سویل یا سایر بنادر این استان پهلو بگیرند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری روی زیرساخت‌های بندر سویل و در نتیجه کاهش هزینه‌های نسبی آن، چگونه بر تصمیم کشتی‌ها جهت انتخاب این بندر تأثیر می‌گذارد.[۱۹]

پارک و همکاران، در سال ۲۰۱۲ تصمیم کشتی‌ها برای انتخاب بندر را مورد مطالعه قرار دادند. آنها نشان دادند که این تصمیم، به تفاوت هزینه‌های بندر مورد مطالعه و بنادر رقابتی دیگر بستگی دارد. طبق این پژوهش، اگر میانگین هزینه‌های روش‌های مختلف حمل‌ونقل شناخته شده باشد، انتخاب بندر با مقایسه ساده بین تعرفه‌ها انجام خواهد شد.[۲۰]

هو و همکاران در سال ۲۰۰۸، تأثیر اقتصادی توسعه بنادر را مورد مطالعه قرار دادند. آنها نشان دادند که اگر درآمد و بازده مورد انتظار محقق نشود، تصمیم توسعه

بندر می‌تواند به یک معضل مالی منجر شود. علاوه بر این، آنها نشان دادند که افزایش تعداد بنادر در یک منطقه خاص ممکن است منجر به تأثیر مثبت اقتصادی در آن منطقه نشود. این امر به این دلیل است که بنادر باید توسط زیرمجموعه‌های دیگر مانند انبارها و اتصالات حمل‌ونقل پشتیبانی شوند.[۲۱]

۳. روش‌شناسی تحقیق

اصول و مکانیزم پویایی‌های سیستم، ابتدا در دهه‌های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ مطرح و بررسی‌هایی روی آن انجام گردید. این رویکرد در ابتدا با بعضی از مباحث مدیریتی نظیر بی‌ثباتی در تولید و اشتغال، رشد کم یا ناسازگاری فعالیت سازمان‌ها و کاهش سهم بازار در ارتباط بوده است. در ادامه، این پدیده درواقع به روشی برای درک و شناخت انواع مشخصی از مباحث ساختاری، ماهیتی، فرایندی، سازوکاری و عملکردی و مسائل پیچیده در یک سیستم، حل، برنامه‌ریزی، نظارت و هماهنگی اجزای آن مبدل شد.[۲۲]

پویایی‌های سیستم، یک روش براساس تفکر سیستمی و برای مقابله با مسائل پیچیده است. این روش، به‌عنوان یک آزمایشگاه برای بررسی مسائل، می‌تواند برای اجرا و آزمایش فرضیه‌هایی که در عمل به دلیل محدودیت زمان و منابع امکان انجام آنها وجود ندارد، استفاده شود. در این روش، از یک الگو یا مدلی از سیستم، برای تجزیه و تحلیل آن استفاده می‌شود. به‌طور کلی، مدل‌ها به ۲ دسته ایستا و پویا تقسیم‌بندی می‌شوند. در مدل‌های ایستا، زمان در نظر گرفته نمی‌شود و یا وضعیت مدل در یک لحظه زمانی به‌صورت ایستا نمایش داده می‌شود. در مقابل، در مدل‌های پویا، اجزای سیستم و روابط بین آنها با گذشت زمان تغییر می‌کنند. پویایی‌های سیستم، یک رویکرد برای تست چارچوب یک سیستم پویا و پیچیده، با تعاملات مختلف میان متغیرها در طی یک دوره زمانی، می‌باشد.[۲۳]

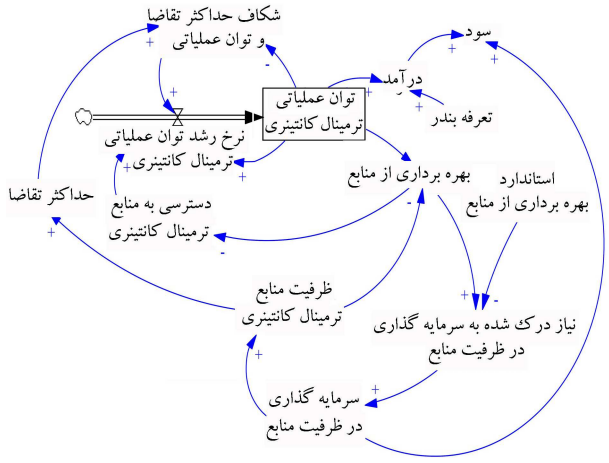
روش پویایی‌های سیستم، یک رویکرد مؤثر برای مطالعه تأثیر سیاست‌های مدیریت بندر است. این روش، امکان آزمایش مستقیم چندین گزینه را فراهم می‌کند تا نظر متخصصان در مدل گنجانیده شود. همچنین، مدل پویایی‌های سیستم، به‌عنوان یک ابزار ارتباطی عمل می‌کند که تمام ذینفعان و روابط علی و معلولی بین آنها را در نظر می‌گیرد.[۲۴]

در پژوهش حاضر، هدف بر آن است تا مدلی برای سرمایه‌گذاری در بخش ترمینال کانتینری بنادر با رویکرد پویایی‌های سیستم ارائه شود و سیاست‌های مختلف مدیریتی مورد بررسی قرار گیرد. مدل ارائه شده برای بندر شهید رجایی اجرا شده است و داده‌های مورد نیاز برای انجام این پژوهش با مصاحبه با کارشناسان سازمان بنادر و دریانوردی جمع‌آوری گردیده است. متغیرهای اصلی در نظر گرفته شده برای مسئله عبارتند از توان عملیاتی ترمینال کانتینری، عمق اسکله و کانال دسترسی، ظرفیت ذخیره‌سازی ترمینال کانتینری و ظرفیت حمل‌ونقل ترمینال کانتینری. در این تحقیق، نمودار حالت و جریان هر یک از متغیرها با توجه به مبانی نظری مرور شده و مطالعات جامع انجام شده، ترسیم گردید. در مدل پیشنهادی، سه زیرسیستم به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفته است:

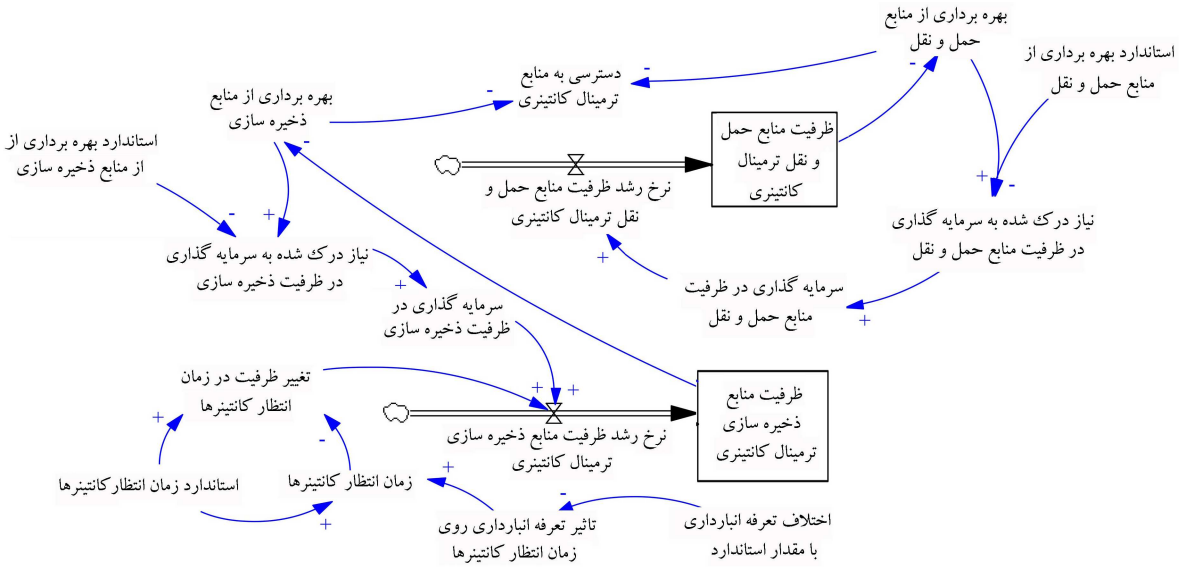
۱. زیرسیستم رشد و سرمایه‌گذاری: زمانی که پایه و اساس یک عملیات تنظیم می‌شود، تمایل برای رشد آن پایه به‌طور طبیعی به وجود می‌آید. هرچه توان عملیاتی ترمینال محموله‌های کانتینری بیشتر باشد، میزان رشد توان عملیاتی آن نیز بالاتر می‌رود (و بالعکس) و این چرخه تا زمانی که به حد خود برسد ادامه می‌یابد. از طرفی، هرچه بیشتر از ظرفیت ترمینال کانتینری استفاده شود، در دسترس بودن منابع ترمینال کانتینر کمتر خواهد بود. به نوبه خود، هرچه منابع در دسترس ترمینال کانتینر کمتر باشد، کشتی‌های کمتری آن بندر را برای تخلیه و بارگیری محموله‌های خود انتخاب می‌کنند و توان عملیاتی ترمینال کانتینری کاهش می‌یابد. در هر حال، بنادر به دنبال ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای خود می‌باشند و برای رسیدن به این هدف، نیاز به سرمایه‌گذاری در ظرفیت را درک می‌کنند. هرچه سطح استفاده از ظرفیت پایانه‌های کانتینری بیشتر باشد، نیاز درک شده برای سرمایه‌گذاری در ظرفیت پایانه‌های کانتینری نیز بیشتر می‌شود. درک نیاز به سرمایه‌گذاری از مقایسه بین کیفیت خدمات فعلی و کیفیت خدمات استاندارد ناشی می‌شود و به تبع آن، سرمایه‌گذاری در ظرفیت پایانه‌های کانتینری آغاز می‌گردد. در شکل ۱ نمودار حالت و جریان زیر سیستم رشد و سرمایه‌گذاری نشان داده شده است؛

۲. زیرسیستم ظرفیت: حداکثر تقاضای ترمینال کانتینری توسط ظرفیت ترمینال کانتینری تعیین می‌شود. هرچه ظرفیت ترمینال کانتینری بیشتر باشد، حداکثر تقاضای ترمینال کانتینری بیشتر می‌شود و در نتیجه، اختلاف کسری بین حداکثر تقاضای ترمینال کانتینری و توان واقعی ترمینال کانتینری (فاصله شکاف محموله‌های کانتینری) بیشتر خواهد بود. همچنین، هرچه توان عملیاتی ترمینال کانتینری بیشتر باشد، میزان استفاده از منابع حمل و نقل نیز بیشتر می‌شود و در نتیجه سرمایه‌گذاری در ظرفیت ترمینال افزایش یافته و ظرفیت ترمینال کانتینری افزایش می‌یابد. سرانجام، این افزایش ظرفیت موجب افزایش حداکثر تقاضای ترمینال کانتینری خواهد شد. در شکل ۲ نمودار حالت و جریان زیرسیستم ظرفیت نشان داده شده است؛

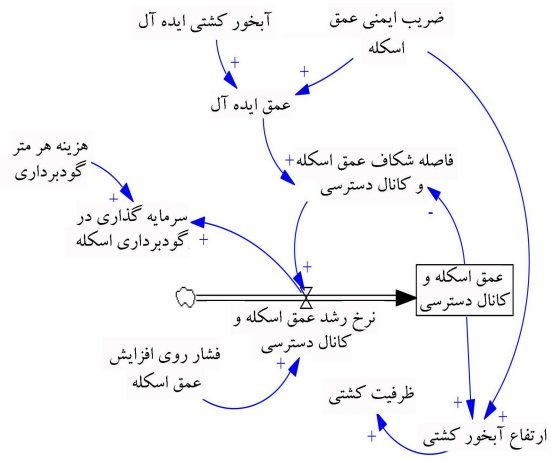
۳. زیرسیستم اسکله و کانال دسترسی: افزایش عمق اسکله و کانال دسترسی به‌طور مستقیم بر ظرفیت بندر تأثیرگذار نمی‌باشد. ظرفیت یک بندر توسط حداکثر تعداد محموله‌هایی که می‌تواند جابه‌جا کند تعیین می‌شود. عمیق‌تر شدن اسکله و کانال دسترسی، شرایط ورود کشتی‌های بزرگتر را برای استفاده از بندر فراهم می‌کند. در نتیجه با ورود کشتی‌های بزرگ‌تر، هزینه حمل‌ونقل کانتینرها توسط کشتی به ازای هر واحد محموله کاهش می‌یابد. این کاهش هزینه، موجب افزایش تقاضا برای آن بندر می‌شود. افزایش تقاضای بندر باعث می‌شود تا اپراتورهای ترمینال نیاز به سرمایه‌گذاری در ظرفیت ترمینال را درک کنند. در نتیجه، اثر مستقیم افزایش عمق اسکله روی تقاضای بندر از طریق کاهش هزینه، اثر غیرمستقیم



شکل ۱. نمودار حالت و جریان زیرسیستم رشد و سرمایه‌گذاری.



شکل ۲. نمودار حالت و جریان زیرسیستم ظرفیت.



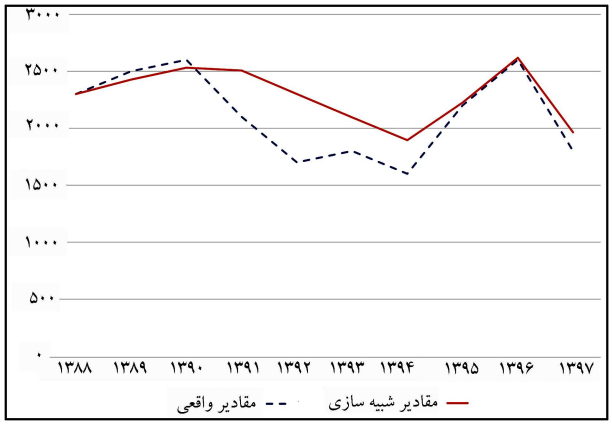
شکل ۳. نمودار حالت و جریان زیرسیستم اسکله و کانال دسترسی.

روی ظرفیت بندر دارد. در شکل ۳ نمودار حالت و جریان زیرسیستم اسکله و کانال دسترسی نشان داده شده است.

۴. اعتبار سنجی و تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

اعتبارسنجی، فرایند ایجاد اطمینان از معنی‌دار بودن و مفید بودن مدل می‌باشد. اعتبارسنجی در روش پویایی‌های سیستم به دلیل اهمیت راهبردی سوالاتی که این مدل‌ها پاسخ می‌دهند، سادگی درک رفتار مدل و نتایج کلی آن، از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. بنابراین پس از طراحی مدل، باید اعتبار مدل مورد ارزیابی قرارگیرد. در این تحقیق، جهت تصدیق مدل ارائه شده، ابتدا مدل توسط نرم‌افزار تأیید شده و سپس از چند آزمون مهم اعتبارسنجی به شرح ذیل استفاده گردید:

آزمون شرایط حدی پارامترها: اگر عمق اسکله و کانال دسترسی در مدل برابر صفر شود، متغیرهای تأثیرپذیر مانند ارتفاع آبخورکشتی و ظرفیت کشتی‌های ورودی به بندر نیز صفر می‌شود. از طرفی، اگر عمق اسکله و کانال دسترسی افزایش یابد،



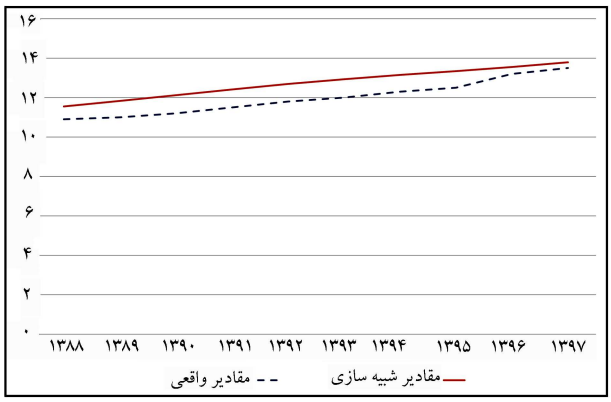
شکل ۴. مقایسه مقادیر واقعی و شبیه‌سازی برای متغیر توان عملیاتی.

متغیرهای تأثیرپذیر مانند ارتفاع آبخورکشتی و ظرفیت کشتی‌های ورودی به بندر نیز افزایش می‌یابد.

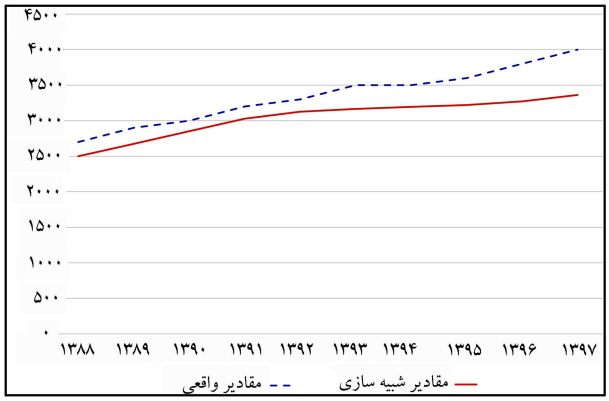
آزمون حساسیت رفتار مدل: با تغییر جزئی در مقدار متغیر سرمایه‌گذاری در ظرفیت به ازای هر واحد کانتینر، رفتار متغیرهای تأثیرپذیر مانند سرمایه‌گذاری در ظرفیت ذخیره‌سازی، سود حاصل از محموله کانتینری و سرمایه‌گذاری کل بندر با حالت پایه مدل مقایسه گردید و مشاهده شد که میزان تغییر در پارامترهای ذکر شده بسیارکم و مطابق با انتظار بوده است. بنابراین، اعتبار مدل در این آزمون نیز تأیید گردید.

آزمون شبیه‌سازی با داده‌های تاریخی: مدل برای سال‌های ۱۳۹۷ – ۱۳۸۸ توسط نرم‌افزار ونسیم اجرا شده است. جهت مقایسه با داده‌های تاریخی، سه متغیر کلیدی «توان عملیاتی ترمینال کانتینری» ، «عمق اسکله و کانال دسترسی» و «ظرفیت ترمینال کانتینری» در نظرگرفته شد و نرخ خطای محاسبه شده آنها به ترتیب ۱۲، ۳ و ۶ درصد می‌باشد که تأیید اعتبار مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد. در شکل‌های ۴، ۵ و ۶، مقایسه بین داده‌های تاریخی و خروجی شبیه‌سازی نشان داده شده است.

جهت بررسی حساسیت متغیرهای عملکردی نسبت به تغییر در پارامترهای سیاست‌گذاری سیاست‌های اتخاذ شده در سه حوزه کیفیت خدمات، درآمد و ظرفیت



شکل ۵. مقایسه مقادیر واقعی و شبیه‌سازی برای متغیر عمق اسکله.



شکل ۶. مقایسه مقادیر واقعی و شبیه‌سازی برای متغیر ظرفیت.

جدول ۱. نتایج شبیه‌سازی سیاست‌های ۱ و ۲ و ۳ و مقایسه تأثیر آنها بر توان عملیاتی.

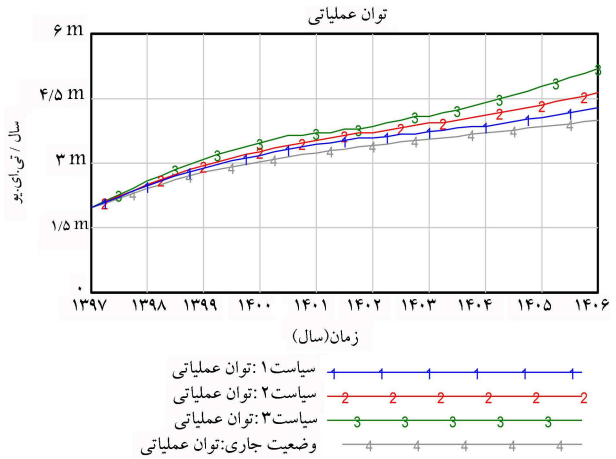
سال	سیاست ۱	سیاست ۲	سیاست ۳	وضعیت جاری
۱۳۹۷	۱۹۶۴	۱۹۶۴	۱۹۶۴	۱۹۶۴
۱۳۹۸	۲۴۷۷/۲۱	۲۵۰۵/۴۲	۲۵۷۷/۰۷	۲۴۲۱/۵۴
۱۳۹۹	۲۸۹۰/۳۴	۲۹۴۸/۹۲	۳۰۹۴/۱۱	۲۷۸۱/۸۹
۱۴۰۰	۳۱۸۷/۵۵	۳۲۷۱/۳۸	۳۴۷۳/۰۹	۳۰۳۷/۷۳
۱۴۰۱	۳۴۲۴/۳۱	۳۵۳۰/۹۱	۳۷۰۶/۵۱	۳۲۴۰/۳۳
۱۴۰۲	۳۵۷۶/۹۸	۳۷۰۳/۸۴	۳۸۳۸/۹۸	۳۴۰۷/۷۷
۱۴۰۳	۳۷۱۹/۱۸	۳۹۲۶/۲۸	۴۰۷۶/۲۰	۳۵۵۶/۲۸
۱۴۰۴	۳۸۶۰/۴۴	۴۱۰۱/۷۰	۴۴۱۱/۶۲	۳۶۹۷/۹۷
۱۴۰۵	۴۰۶۴/۹۷	۴۳۵۶/۵۵	۴۷۸۱/۳۰	۳۸۴۱/۶۰
۱۴۰۶	۴۲۸۱/۱۸	۴۶۳۳/۳۶	۵۱۸۲/۵۱	۳۹۸۹/۷۷
میانگین تغییر	٪۴	٪۹	٪۱۵	

کشتی‌های ورودی به بندر، بر روی مدل در بازه زمانی ۱۴۰۶ – ۱۳۹۷ اجرا می‌گردد و با توجه به نتایج حاصل، سیاست مناسب در هر بخش انتخاب می‌شود. به منظور افزایش کیفیت خدمات، سیاست افزایش در سرمایه‌گذاری به ازای هر واحد کانتینر به میزان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد در نظرگرفته شد که نتایج حاصل از اجرای آنها به ترتیب با سیاست ۱، ۲ و ۳ در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است.

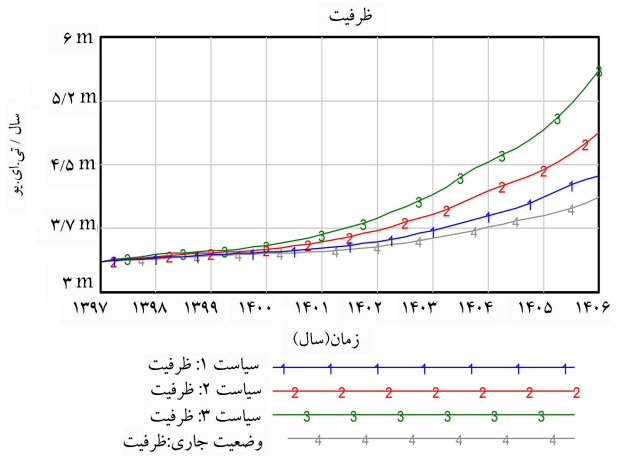
با توجه به شکل‌های ۷ و ۸، سیاست سوم، یعنی افزایش سرمایه‌گذاری به ازای هر واحد کانتینر به میزان ۳۰ درصد، به‌عنوان سیاست مناسب جهت افزایش کیفیت خدمات انتخاب می‌شود. این سیاست باعث افزایش توان عملیاتی به میزان ۱۵ درصد و ظرفیت به میزان ۱۲ درصد، نسبت به وضعیت فعلی می‌شود.

جدول ۲. نتایج شبیه‌سازی سیاست‌های ۱ و ۲ و ۳ و مقایسه تأثیر آنها بر ظرفیت.

سال	سیاست ۱	سیاست ۲	سیاست ۳	وضعیت جاری
۱۳۹۷	۳۳۶۲	۳۳۶۲	۳۳۶۲	۳۳۶۲
۱۳۹۸	۳۴۰۲/۳۳	۳۴۲۲/۳۳	۳۴۴۲/۳۲	۳۳۹۴/۰۲
۱۳۹۹	۳۴۴۴/۶۹	۳۴۶۴/۹۸	۳۴۸۳/۷۸	۳۴۲۷/۴۹
۱۴۰۰	۳۴۶۹/۲۰	۳۵۰۹/۱۰	۳۵۵۲/۸۱	۳۴۵۶/۳۲
۱۴۰۱	۳۵۱۳/۱۱	۳۵۹۳/۶۲	۳۶۷۶/۵۲	۳۴۸۲/۰۸
۱۴۰۲	۳۵۹۶/۶۴	۳۷۲۸/۱۱	۳۸۷۴/۸۸	۳۵۳۸/۵۰
۱۴۰۳	۳۷۲۸/۷۷	۳۹۱۷/۰۶	۴۱۴۶/۷۵	۳۶۳۱/۲۰
۱۴۰۴	۳۹۰۱/۹۲	۴۱۹۷/۷۹	۴۵۳۱/۳۹	۳۷۶۵/۳۳
۱۴۰۵	۴۱۱۲/۴۴	۴۴۴۴/۰۱	۴۹۱۱/۸۸	۳۹۰۲/۰۲
۱۴۰۶	۴۳۶۶/۶۳	۴۸۷۳/۰۶	۵۶۰۶/۲۵	۴۱۱۵/۶۴
میانگین تغییر	٪۲	٪۶	٪۱۲	



شکل ۷. نتایج شبیه‌سازی سیاست‌های ۱ و ۲ و ۳ و مقایسه تأثیر آنها بر توان عملیاتی.



شکل ۸. نتایج شبیه‌سازی سیاست‌های ۱ و ۲ و ۳ و مقایسه تأثیر آنها بر ظرفیت ترمینال کانتینری.

جدول ۳. نتایج شبیه‌سازی سیاست‌های ۱ و ۲ و ۳ و مقایسه تأثیر آنها بر حداکثر تقاضا.

سال	سیاست ۱	سیاست ۲	سیاست ۳	وضعیت جاری
۱۳۹۷	۳۳۶۲	۳۳۶۲	۳۳۶۲	۳۳۶۲
۱۳۹۸	۳۳۹۸/۶۲	۳۴۰۳/۹۴	۳۴۱۲/۷۵	۳۳۹۴/۰۲
۱۳۹۹	۳۴۳۶/۹۵	۳۴۴۷/۸۴	۳۴۵۶/۰۲	۳۴۲۷/۴۹
۱۴۰۰	۳۴۶۳/۲۸	۳۴۷۲/۳۰	۳۴۸۸/۵۳	۳۴۵۶/۳۲
۱۴۰۱	۳۴۹۷/۰۵	۳۵۲۱/۸۹	۳۵۵۴/۱۷	۳۴۸۲/۰۸
۱۴۰۲	۳۵۶۶/۴۷	۳۶۰۷/۳۴	۳۶۶۱/۲۸	۲۵۲۸/۵۰
۱۴۰۳	۳۶۷۶/۹۰	۳۷۳۸/۹۰	۳۸۱۹/۷۴	۳۶۳۱/۲۰
۱۴۰۴	۳۸۳۲/۲۶	۳۸۹۳/۰۸	۴۰۱۶/۹۸	۳۷۶۵/۳۳
۱۴۰۵	۳۹۹۳/۲۶	۴۱۲۸/۸۳	۴۲۸۵/۱۲	۳۹۰۲/۰۲
۱۴۰۶	۴۲۳۷/۸۷	۴۳۱۴/۶۸	۴۵۶۰/۶۵	۴۱۱۵/۶۴
میانگین تغییر	٪۱	٪۲	٪۴	

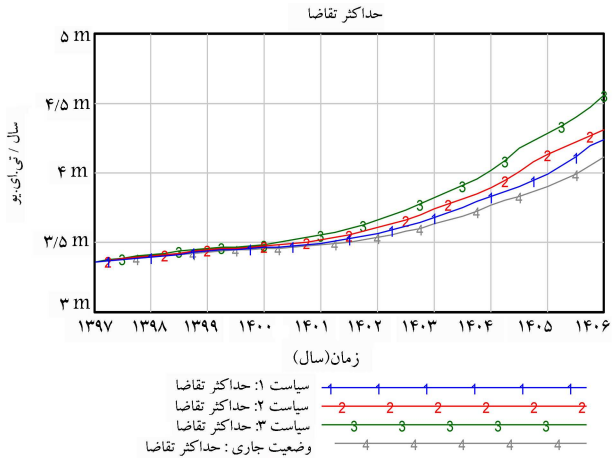
جدول ۴. نتایج شبیه‌سازی سیاست‌های ۱ و ۲ و ۳ و مقایسه تأثیر آنها بر درآمد.

سال	سیاست ۱	سیاست ۲	سیاست ۳	وضعیت جاری
۱۳۹۷	۲۳۹۴۴۶۰	۲۴۷۰۴۸۰	۲۴۹۴۲۳۰	۲۳۷۵۴۶۰
۱۳۹۸	۲۹۷۲۷۹۰	۳۰۸۸۴۴۰	۳۱۳۹۷۳۰	۲۹۲۸۸۵۰
۱۳۹۹	۳۴۳۱۸۰۰	۳۵۸۲۸۰۰	۳۶۶۰۹۷۰	۳۳۶۴۷۰۰
۱۴۰۰	۳۷۵۹۶۶۰	۳۹۳۸۱۷۰	۴۰۳۷۵۸۰	۳۶۷۱۴۰۰
۱۴۰۱	۴۰۱۹۵۰۰	۴۲۲۰۰۹۰	۴۳۳۷۹۸۰	۳۹۱۹۱۸۰
۱۴۰۲	۴۲۳۶۶۶۰	۴۴۵۹۳۶۰	۴۵۹۷۱۲۰	۴۱۲۱۷۰۰
۱۴۰۳	۴۴۳۲۱۵۰	۴۶۷۹۰۰۰	۴۸۳۹۵۳۰	۴۳۰۱۳۳۰
۱۴۰۴	۴۶۲۱۷۵۰	۴۸۹۵۴۷۰	۵۰۸۳۰۳۰	۴۴۷۲۷۱۰
۱۴۰۵	۴۸۱۶۸۱۰	۵۱۱۷۱۹۰	۵۳۳۸۰۹۰	۴۶۴۶۴۲۰
۱۴۰۶	۵۰۲۰۳۴۰	۵۳۵۷۰۲۰	۵۶۲۰۳۵۰	۴۸۲۵۶۳۰
میانگین تغییر	٪۴	٪۱۱	٪۱۶	

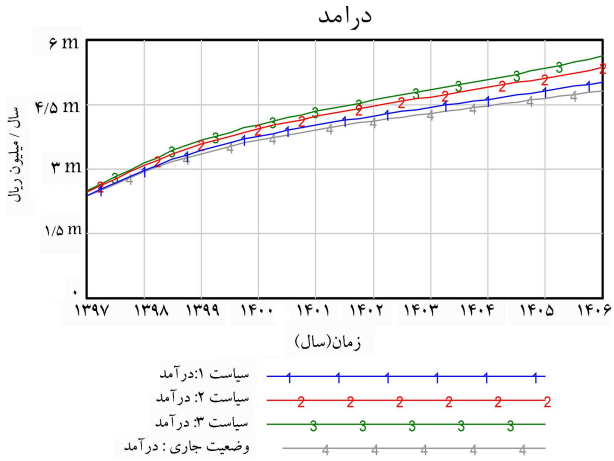
به منظور افزایش درآمد، سیاست‌های تخفیف در تعرفه خدمات بندری به میزان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد در نظر گرفته شدند. نتایج حاصل از اجرای این سیاست‌ها به ترتیب با سیاست ۱، ۲ و ۳ در جداول ۳ و ۴ نشان داده شده است. همانطورکه در شکل‌های ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود، سیاست سوم، یعنی ۳۰ درصد تخفیف در تعرفه خدمات بندری، به‌عنوان سیاست مناسب جهت افزایش درآمد بندر انتخاب می‌شود. این سیاست موجب افزایش تقاضا به میزان ۴ درصد و درآمد بندر به میزان ۱۶ درصد، نسبت به وضعیت فعلی می‌شود.

به منظور افزایش ظرفیت کشتی‌های ورودی به بندر، سیاست‌های افزایش عمق اسکله به ۱۵ و ۱۷ متر مطرح گردید و نتایج حاصل از اجرای آنها به ترتیب با سیاست ۱ و ۲ در جداول ۵ و ۶ نشان داده شده است. با توجه به شکل‌های ۱۱ و ۱۲، سیاست دوم، یعنی افزایش عمق اسکله به ۱۷ متر، به‌عنوان سیاست مناسب جهت افزایش ظرفیت کشتی‌های ورودی به بندر انتخاب می‌شود. این سیاست موجب افزایش ظرفیت کشتی‌های ورودی به بندر به میزان ۹۵ درصد و توان عملیاتی بندر به میزان ۱۶ درصد، نسبت به وضعیت فعلی می‌شود.

در نهایت، اجرای هم‌زمان سیاست‌های انتخابی در هر حوزه، یعنی ۳۰ درصد



شکل ۹. نتایج شبیه‌سازی سیاست‌های ۱ و ۲ و ۳ و مقایسه تأثیر آنها بر حداکثر تقاضا.



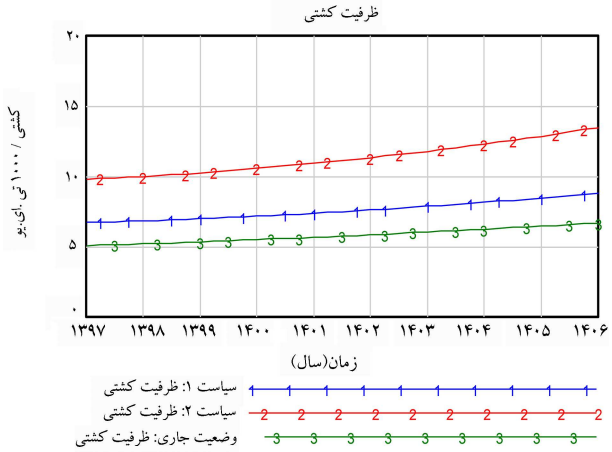
شکل ۱۰. نتایج شبیه‌سازی سیاست‌های ۱ و ۲ و ۳ و مقایسه تأثیر آنها بر درآمد بندر.

جدول ۵. نتایج شبیه‌سازی سیاست‌های ۱ و ۲ و مقایسه تأثیر آنها بر ظرفیت کشتی‌های ورودی به بندر.

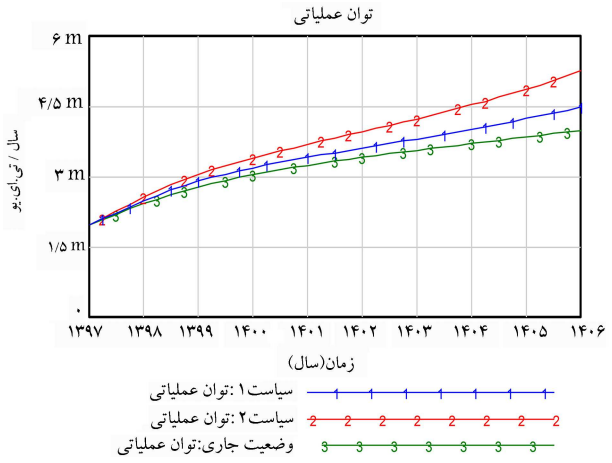
سال	سیاست ۱	سیاست ۲	وضعیت جاری
۱۳۹۷	۶۷۱۳	۹۷۸۵/۷۱	۵۰۸۷/۴۲
۱۳۹۸	۶۸۳۱/۸۱	۹۹۸۰/۴۶	۵۲۰۰/۹۵
۱۳۹۹	۶۹۸۱/۷۱	۱۰۲۳۴/۸۱	۵۳۳۶/۹۸
۱۴۰۰	۷۱۶۳/۵۶	۱۰۵۵۰/۸۱	۵۴۹۳/۶۵
۱۴۰۱	۷۳۷۰/۵۰	۱۰۹۱۵/۰۳	۵۶۶۳/۴۳
۱۴۰۲	۷۶۰۰/۳۷	۱۱۳۲۵/۷۵	۵۸۴۴/۸۴
۱۴۰۳	۷۸۵۷/۰۶	۱۱۷۸۳	۶۰۳۶/۳۴
۱۴۰۴	۸۱۴۰/۲۸	۱۲۲۸۹/۱۹	۶۲۳۷/۰۹
۱۴۰۵	۸۴۵۵/۴۶	۱۲۸۵۰/۵۹	۶۴۴۹/۶۸
۱۴۰۶	۸۸۰۶/۳۱	۱۳۴۷۱/۵۶	۶۶۷۵/۰۳
میانگین تغییر	٪۳۱	٪۹۵	

جدول ۶. نتایج شبیه‌سازی سیاست‌های ۱ و ۲ و مقایسه تأثیر آنها بر توان عملیاتی.

سال	سیاست ۱	سیاست ۲	وضعیت جاری
۱۳۹۷	۱۹۶۴	۱۹۶۴	۱۹۶۴
۱۳۹۸	۲۴۸۶/۱۳	۲۵۶۳/۵۸	۲۴۲۱/۵۴
۱۳۹۹	۲۸۹۵/۶۸	۳۰۵۰/۰۰	۲۷۸۱/۸۹
۱۴۰۰	۳۱۸۰/۵۴	۳۳۹۵/۶۵	۳۰۳۷/۷۳
۱۴۰۱	۳۴۰۶/۷۴	۳۶۸۳/۰۳	۳۲۴۰/۳۳
۱۴۰۲	۳۶۰۶/۵۴	۳۹۵۲/۱۱	۳۴۰۷/۷۷
۱۴۰۳	۳۸۰۱/۹۶	۴۲۲۳/۸۱	۳۵۵۶/۲۸
۱۴۰۴	۴۰۰۵/۵۹	۴۵۲۷/۴۸	۳۶۹۷/۹۷
۱۴۰۵	۴۲۳۳/۳۲	۴۸۶۰/۵۸	۳۸۴۱/۶۰
۱۴۰۶	۴۴۸۱/۲۹	۵۲۶۸/۵۵	۳۹۸۹/۷۷
میانگین تغییر	٪۶	٪۱۶	



شکل ۱۱. نتایج شبیه‌سازی سیاست‌های ۱ و ۲ و مقایسه تأثیر آنها بر ظرفیت کشتی.



شکل ۱۲. نتایج شبیه‌سازی سیاست‌های ۱ و ۲ و مقایسه تأثیر آنها بر توان عملیاتی.

افزایش در سرمایه‌گذاری به ازای هر واحد کانتینر، ۳۰ درصد تخفیف در تعرفه خدمات بندری و افزایش عمق اسکله به ۱۷ متر، به‌عنوان سیاست پیشنهادی این تحقیق ارائه گردیده و نتایج حاصل از آن در جداول ۷ الی ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل‌های ۱۳ الی ۱۶، با انتخاب سیاست پیشنهادی

جدول ۷. نتایج شبیه‌سازی سیاست پیشنهادی و تأثیر آنها بر توان عملیاتی.

سال	سیاست پیشنهادی	وضعیت جاری
۱۳۹۷	۱۹۶۴	۱۹۶۴
۱۳۹۸	۲۶۹۲/۳۹	۲۴۲۱/۵۴
۱۳۹۹	۳۲۴۲/۸۵	۲۷۸۱/۸۹
۱۴۰۰	۳۶۰۱/۴۲	۳۰۳۷/۷۳
۱۴۰۱	۳۹۰۱/۱۷	۳۲۴۰/۳۳
۱۴۰۲	۴۱۹۴/۱۶	۳۴۰۷/۷۷
۱۴۰۳	۴۵۱۱/۹۰	۳۵۵۶/۲۸
۱۴۰۴	۴۸۹۲/۲۵	۳۶۹۷/۹۷
۱۴۰۵	۵۳۳۵/۵۰	۳۸۴۱/۶۰
۱۴۰۶	۵۹۱۵/۰۹	۳۹۸۹/۷۷
میانگین تغییر	٪۲۴	

جدول ۸. نتایج شبیه‌سازی سیاست پیشنهادی و تأثیر آن بر ظرفیت.

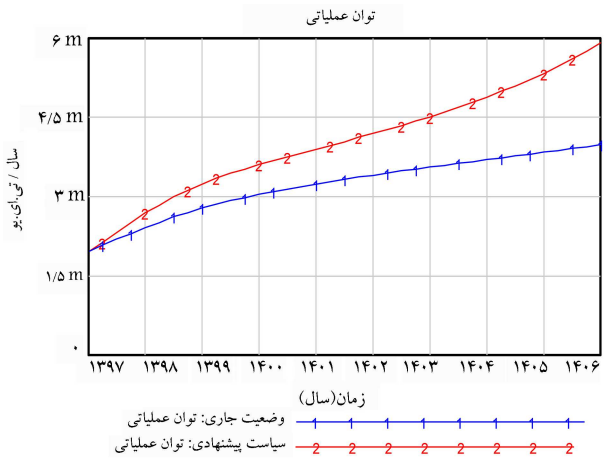
سال	سیاست پیشنهادی	وضعیت جاری
۱۳۹۷	۳۳۶۲	۳۳۶۲
۱۳۹۸	۳۴۸۱/۳۱	۳۳۹۴/۰۲
۱۳۹۹	۳۵۶۹/۰۳	۳۴۲۷/۴۹
۱۴۰۰	۳۷۴۱/۲۹	۳۴۵۶/۳۲
۱۴۰۱	۴۰۱۱/۷۰	۳۴۸۲/۰۸
۱۴۰۲	۴۳۸۶/۷۰	۳۵۳۸/۵۰
۱۴۰۳	۴۹۵۰/۶۷	۳۶۳۱/۲۰
۱۴۰۴	۵۶۴۱/۰۳	۳۷۶۵/۳۳
۱۴۰۵	۶۸۹۸/۰۵	۳۹۰۲/۰۲
۱۴۰۶	۸۰۳۹/۵۹	۴۱۱۵/۶۴
میانگین تغییر	٪۳۱	

جدول ۹. نتایج شبیه‌سازی سیاست پیشنهادی و تأثیر آن بر ظرفیت کشتی.

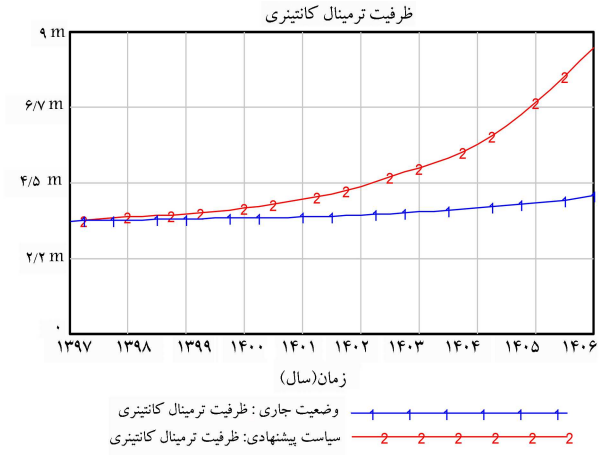
سال	سیاست پیشنهادی	وضعیت جاری
۱۳۹۷	۹۷۸۵/۷۱	۵۰۸۷/۴۲
۱۳۹۸	۹۹۸۰/۴۶	۵۲۰۰/۹۵
۱۳۹۹	۱۰۲۴۶/۶۹	۵۳۳۶/۹۸
۱۴۰۰	۱۰۵۸۳/۹۴	۵۴۹۳/۶۵
۱۴۰۱	۱۰۹۷۱/۰۶	۵۶۶۳/۴۳
۱۴۰۲	۱۱۴۰۹/۲۵	۵۸۴۴/۸۴
۱۴۰۳	۱۱۸۹۸/۲۸	۶۰۳۶/۳۴
۱۴۰۴	۱۲۴۴۳/۷۸	۶۲۳۷/۰۹
۱۴۰۵	۱۳۰۵۴/۹۴	۶۴۴۹/۶۸
۱۴۰۶	۱۳۷۴۴/۵۹	۶۶۷۵/۰۳
میانگین تغییر	٪۹۶	

جدول ۱۰. نتایج شبیه‌سازی سیاست پیشنهادی و تأثیر آن بر درآمد.

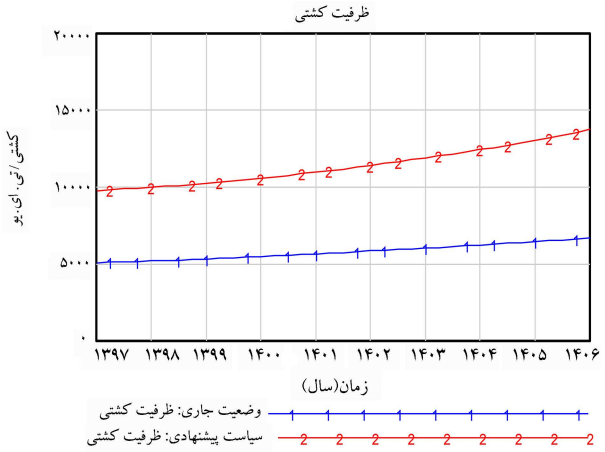
سال	سیاست پیشنهادی	وضعیت جاری
۱۳۹۷	۲۴۹۴۲۳۰	۲۳۷۵۴۶۰
۱۳۹۸	۳۴۱۹۲۷۰	۲۹۲۸۸۵۰
۱۳۹۹	۴۱۱۸۳۵۰	۳۳۶۴۷۰۰
۱۴۰۰	۴۵۷۳۷۱۰	۳۶۷۴۱۴۰
۱۴۰۱	۴۹۵۴۴۰۰	۳۹۱۹۱۸۰
۱۴۰۲	۵۳۲۶۴۸۰	۴۱۲۱۷۰۰
۱۴۰۳	۵۷۳۰۰۱۰	۴۳۰۱۳۳۰
۱۴۰۴	۶۲۱۳۰۵۰	۴۴۷۲۷۱۰
۱۴۰۵	۶۷۷۵۹۶۰	۴۶۴۶۴۲۰
۱۴۰۶	۷۵۱۲۰۲۰	۴۸۲۵۶۳۰
میانگین تغییر	٪۳۰	



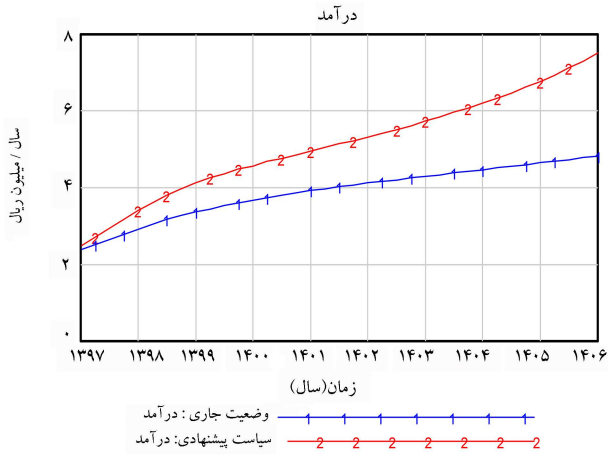
شکل ۱۳. نتیجه شبیه‌سازی سیاست پیشنهادی برای متغیر توان عملیاتی ترمینال کانتینری.



شکل ۱۴. نتیجه شبیه‌سازی سیاست پیشنهادی برای متغیر ظرفیت ترمینال کانتینری.



شکل ۱۵. نتیجه شبیه‌سازی سیاست پیشنهادی برای متغیر ظرفیت کشتی.



شکل ۱۶. نتیجه شبیه‌سازی سیاست پیشنهادی برای متغیر درآمد حاصل از محموله کانتینری.

این تحقیق، توان عملیاتی ترمینال کانتینری ۲۴ درصد، ظرفیت تجهیزات ترمینال کانتینری ۳۱ درصد، ظرفیت کشتی‌های ورودی به بندر ۹۶ درصد و درآمد حاصل از محموله کانتینری ۳۰ درصد نسبت به وضعیت فعلی افزایش خواهد یافت. در نتیجه، با اتخاذ سیاست پیشنهادی این تحقیق، می‌توان عملکرد ترمینال کانتینری بندر شهید رجایی را بهبود داد.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، یک مدل با رویکرد پویایی‌های سیستم برای مطالعه و بررسی سیاست‌های مدیریتی که منجر به افزایش توان عملیاتی ترمینال کانتینری بندر شهید رجایی می‌شود، ارائه گردید. براساس مدل ارائه شده، زیرسیستم‌های رشد و سرمایه‌گذاری، ظرفیت و اسکله و کانال‌های دسترسی استخراج گردید. با توجه به متغیرهای مدل ارائه شده، داده‌های مربوط به سرمایه‌گذاری در ترمینال کانتینری بندر شهید رجایی برای ۱۰ سال از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۷ وارد مدل شده و نتایج شبیه‌سازی ارائه شد. متغیرهای قابل ارزیابی در مدل عبارتند از سرمایه‌گذاری به ازای هر واحد کانتینر، تعرفه ورودی کشتی‌ها به بندر، تعرفه انبارداری کانتینرها، تعرفه اپراتورهای حمل و نقل در ترمینال کانتینری و عمق اسکله و کانال دسترسی.

با توجه به مدل ارائه شده از متغیرهایی که در مدل نقش مهم‌تری دارند، به منظور مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر واقعی آنها و محاسبه درصد خطای شبیه‌سازی استفاده گردید. بدین ترتیب میانگین خطای شبیه‌سازی متغیر توان عملیاتی ترمینال کانتینری ۱۲ درصد، متغیر عمق اسکله و کانال دسترسی ۳ درصد و متغیر ظرفیت ترمینال کانتینری ۶ درصد محاسبه گردید. در ادامه، حساسیت متغیرهای عملکردی نسبت به تغییرات در پارامترهای سیاست‌گذاری در سه حوزه مورد بررسی قرار گرفت. در حوزه کیفیت خدمات بندر، سیاست افزایش سرمایه‌گذاری به ازای هر واحد کانتینر به میزان ۳۰ درصد منجر به افزایش توان عملیاتی به میزان ۱۵ درصد و ظرفیت به میزان ۱۲ درصد گردید. در حوزه درآمد بندر، سیاست ۳۰ درصد تخفیف در تعرفه خدمات بندری منجر به افزایش تقاضا به میزان ۴ درصد و درآمد بندر به میزان ۱۶ درصد گردید. در حوزه ظرفیت کشتی‌های ورودی به بندر، سیاست افزایش عمق اسکله به ۱۷ متر منجر به افزایش ظرفیت کشتی‌های ورودی به بندر به میزان ۹۵ درصد و توان عملیاتی بندر به میزان ۱۶ درصد گردید. در پایان، اجرای هم‌زمان سه سیاست انتخاب شده به‌عنوان سیاست پیشنهادی این تحقیق ارائه گردید که موجب افزایش توان عملیاتی ترمینال کانتینری به میزان ۲۴ درصد، افزایش ظرفیت تجهیزات ترمینال کانتینری به میزان ۳۱ درصد، افزایش درآمد حاصل از محموله کانتینری به میزان ۳۰ درصد و افزایش ظرفیت کشتی‌های ورودی به بندر به میزان ۹۶ درصد می‌گردد. در نتیجه، با اتخاذ سیاست پیشنهادی می‌توان عملکرد ترمینال کانتینری بندر شهید رجایی را بهبود داد.

امید است محققان بتوانند پژوهش‌های آتی را به تفکیک نوع کالاهای ورودی به بندر انجام دهند و سایر محموله‌های ورودی به بندر را نیز در پژوهش‌های خود مورد توجه قرار دهند. همچنین، پیشنهاد می‌شود معافیت‌های مالیاتی که بندر برای جذب سرمایه‌گذار اعطا می‌کند نیز در پژوهش‌های آتی مورد بررسی قرار گیرد. همچنین، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی تأثیر سیاست‌های سرمایه‌گذاری در بنادر بر اقتصاد منطقه بررسی گردد.

امور پژوهشی نیز مانند سایر امور در زمان اجرا، با مسائل و مشکلاتی روبه‌رو خواهد شد که می‌توان گفت این موضوع در اکثر موارد اجتناب ناپذیر بوده و در حقیقت بخشی از پژوهش قلمداد می‌شود. مهم‌ترین محدودیت این تحقیق، عدم تطابق داده‌های دریافت شده از کارشناسان سازمان بنادر با داده‌های موجود در سایت سازمان بنادر بود. در نهایت، داده‌هایی که رفتار منطقی و مطابق با انتظار را در مدل نشان می‌دادند، انتخاب شدند.

پانوشت‌ها

1. System Dynamics
2. Vensim

منابع (References)

1. Yegane, S., 2015. Sustainable development indexes in port development. *Ports and Maritime Organization Press*, [In Persian].
2. Mahir kojuri, M. and Azarabad, A.R., 2016. Performance evaluation of container operators of Shahid Rajaei port. *Journal of Maritime Transport Industry*, *3*(3), pp.20-26. [In Persian].
3. Merk, O. and Notteboom, T., 2013. The competitiveness of global port-cities: The Case of rotterdam / Amsterdam. *OECD Publishing*, https://doi.org/10.1787/20737009.
4. Rahmani, Z. and Salehi, k., 2013. Investigating the effect of structural barriers on investment attraction in ports and shipping organization (case study of special economic zone of Amirabad port). Publications of Ports and Maritime Organization, [In Parsian].
5. Puška, A., Beganović, A.I. and Šadić, S., 2018. Model for investment decision making by applying the multicriteria analysis method. *Serbian Journal of Management*, *13*(1), pp.7-28. http://dx.doi.org/10.5937/sjm13-12436.
6. Samadi, B., 2000. Obstacles and problems of foreign investment in the infrastructure industries of the Islamic Republic of Iran. Master's Thesis. [In Parsian].
7. Bichou, K. and Gray, R.A., 2005. Critical review of conventional terminology for classifying seaports. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *39*(1), pp.75-92. https://doi.org/10.1016/j.tra.2004.11.003.
8. Chung, T.W. and Jeon, J.W., 2021. System dynamics-based prediction of North Korean port volumes. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, *37*(4), pp.337-344. https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2021.10.001.
9. Xu, B., Li, J., Liu, X. and Yang, Y., 2021. System dynamics analysis for the governance measures against container port congestion. *IEEE Access*, *9*, pp.13612-13623. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3049967.
10. Sun, J., Wang, H. and Chen, J., 2020. Decision-making of port enterprise safety investment based on system dynamics. *Processes*, *8*(10), p.1235. https://doi.org/10.3390/pr8101235.
11. Xiu, G. and Zhao, Z., 2021. Sustainable development of port economy based on intelligent system dynamics. *IEEE Access*, *9*, pp.14070-14077. http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3051065.
12. Muravev, D., Rakhmangulov, A., Hu, H. and Zhou, H., 2019. The introduction to system dynamics approach to operational efficiency and sustainability of dry port's main parameters. *Sustainability*, *11*(8), p.2413. https://doi.org/10.3390/su11082413.
13. De Marco, A. and Rafele, C., 2007. System dynamics simulation: An application to regional logistics policy making. *International Journal of Computers*, *1*(4), pp.255-262.
14. Carlucci, F. and Cirà, A., 2009. Modeling a plan for seaport investments through a system dynamics approach. *Pomorstvo*, *23*(2), pp.405-425.
15. Fu, H.W., Cao, Y.H., Liang, S.B. and Wu, W., 2018. Impact of the port backup service element on container port system based on system dynamics. *Journal of Interdisciplinary Mathematics*, *21*(5), pp.1273-1278. https://doi.org/10.1080/09720502.2018.1495601.
16. Toukan, M. and Chan, H.L., 2018. Beyond the seaport: Assessing the inland container transport chain using system dynamics. Massachusetts Institute of Technology.

17. Soares, C.J. and Neto, H.X.R., 2016. A Model for predictable capacity of a container terminal state: A system dynamics approach. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, *4*(3), pp.141-154. http://dx.doi.org/10.17265/2328-2142/2016.03.003.

18. Li, D. and Wang, X., 2013. System dynamics simulation model for port economy analysis. *In Proceedings of the Sixth International Conference on Management Science and Engineering Management*, pp.475-482. Springer, London. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4471-4600-1_41.

19. Fernánde, M.J.A., Manzano, J.I.C. and Valpuesta, L.L., 2004. Dynamising economic impact studies: The Case of the port of seville. *Documentos De Trabajo (Centro de Estudios Andaluces)*, *1*(87), p.1. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-7908-1765-2_13.

20. Park, N.K., Moon, D.S. and Lim, C.K., 2012. Port choice model of transhipment cargo using system dynamics. Song, D.W. and Panayides P.M., Ed., In Maritime Logistics. Emerald Group Publishing Limited, pp.69-90.

21. Ho, K.H., Ho, M.W. and Hui, C.M.E., 2008. Structural dynamics in the policy planning of large infrastructure investment under the competitive environment: Context of port throughput and capacity. *Journal of Urban Planning and Development*, *134*(1), pp.9-20. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9488(2008)134:1(9).

22. Hamidizadeh, M.R., 2015. *System Dynamics*. Second Edition, Shahid Beheshti University Press. [In Persian].

23. Zou, B., Guo, F. and Guo, J., 2016. Absorptive capacity, technological innovation, and product life cycle: A system dynamics model. *Springer Plus*, *5*(1), pp.1-25.

24. Sterman, J.D., 2000. Business dynamics: System thinking and modeling for a complex world Irwin McGraw-Hill. Massachusetts Institute of Technology, Engineering Systems Division: Cambridge, MA, USA.

پیوست

برخی از روابط مدل حالت و جریان

$$access\ channels\ and\ berths\ depth = INTEG\left(access\ channels\ and\ berths\ depth\ growth\ rate,\ ۱۳ + (۰/۱ * ۱۳)\right)$$

$$Units:\ meters \tag{۱}$$

$$access\ channels\ and\ berths\ depth\ gap\ fraction = \left(\begin{array}{l} intended\ access\ channels\ and\ berths\ depth \\ -access\ channels\ and\ berths\ depth \end{array}\right) / intended\ access\ channels\ and\ berths\ depth \tag{۲}$$

$$Units:\ Dmnl$$

$$access\ channels\ and\ berths\ depth\ growth\ rate = DELAY۳\left(\begin{array}{l} pressure\ to\ increas\ access\ channels \\ and\ berths\ depth, \\ time\ of\ change\ in\ access\ channels \\ and\ berths\ depth\ growth\ rate \end{array}\right) * access\ channels\ and\ berths\ depth\ gap\ fraction$$

$$Units:\ meters/year \tag{۳}$$

$$capacity = MIN\ (storage\ capacity,\ transfer\ capacity) \tag{۴}$$

$$Units:\ thousand\ TEUs$$

$$capacity\ change\ through\ dwell\ time = reference\ containers\ dwell\ time/containers\ dwell\ time$$

$$Units:\ Dmnl \tag{۵}$$

$$capacity\ investments = investment\ in\ storage\ capacity + investment\ in\ transfer\ capacity \tag{۶}$$

$$Units:\ million\ Rials/year$$

$$container\ terminals\ operators\ price = ۰/۶۶۷ \tag{۷}$$

$$Units:\ million\ Rials/TEU$$

$$port\ price = operators\ price + containers\ storage\ price + portauthority\ containers\ price$$

$$Units:\ million\ Rials/TEU \tag{۸}$$

$$resources\ availability = MIN\left(\begin{array}{l} storage\ resources \\ availability,\ transfer \\ resources\ availability \end{array}\right)$$

$$Units:\ Dmnl \tag{۹}$$

$$storage\ capacity = INTEG\left(\begin{array}{l} storage\ capacity \\ growth\ rate,\ ۳۲۲۰ \end{array}\right)$$

$$Units:\ thousand\ TEUs \tag{۱۰}$$

$$storage\ capacity\ growth\ rate = IF\ THEN\ ELSE\left(\begin{array}{l} storage\ capacity > limits,\ ۰,\ IF\ THEN\ ELSE \\ \left(\begin{array}{l} DELAY۳\left(\begin{array}{l} investment\ in\ storage\ capacity, \\ time\ of\ change\ in\ storage\ capacity \end{array}\right) * \\ capacity\ change\ through\ dwell\ time < ۰,\ ۰, \\ DELAY۳\left(\begin{array}{l} investment\ in\ storage\ capacity, \\ time\ of\ change\ in\ storage\ capacity \end{array}\right) * \\ capacity\ change\ through\ dwell\ time \end{array}\right) / \\ (investment\ per\ TEU\ capacity) \end{array}\right)$$

$$Units:\ thousand\ TEUs/year \tag{۱۱}$$

$$storage\ capacity\ utilization = containerized\ cargo\ port\ throughput / storage\ capacity \quad (۱۲)$$

$$Units: Dmnl$$

$$storage\ resources\ availability = standard\ capacity\ utilization / storage\ capacity\ utilization \quad (۱۳)$$

$$transfer\ capacity = INTEG \left(\begin{array}{l} transfer\ capacity \\ growth\ rate, ۳۲۰۷ \end{array} \right)$$

$$Units: thousand\ TEUs \quad (۱۴)$$