نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــــریت تولیـــد

شمـــــاره ۲، جلـــد ۲۲، تابستـــــان ۱۳۹۰
صفحـــــه ۱۶۲-۱۷۰

IJIE نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

ارائه یک متدولوژی جهت تخصیص تجهیزات و تسهیلات به بنادر با استفاده از ابزارهای تصمیم گیری چند معیاره و شبیه سازی (مطالعه موردی: بندر شهید رجایی)

علی محتشمی و محمدعلی خاتمی فیروزآبادی*

کلمات کلیدی

بندر
شبیه سازی
توان عملیاتی
تصمیم گیری های چند معیاره

تخصیص تجهیزات به عملیات مختلف همواره یکی از دغدغه های مدیران بنادر بوده است. در این مقاله سعی شده است با ارائه یک متدولوژی، تخصیص تجهیزات و ترکیب مطلوب طرح های بهبود دهنده به عملیات تخلیه و بارگیری در بنادر انجام شود. متدولوژی پیشنهادی به منظور تجزیه و تحلیل سیستم، از شبیه سازی و ابزارهای تصمیم گیری چند معیاره بهره گرفته است. این متدولوژی مشتمل بر ۳ گزینه کلی و ۴ شاخص تصمیم گیری جهت رتبه بندی می باشد. ۴ گزینه کلی عبارتند از: اسکله، گنتری کرین ترانستینر و ریچ استاکر. همچنین ۴ شاخص تصمیم گیری عبارتند از هزینه، عمر مفید، زمان تحویل و حجم تخلیه و بارگیری سالیانه. جهت بررسی جنبه های کارکردی متدولوژی پیشنهادی در این مطالعه، بندر شهید رجایی به عنوان مطالعه موردی در این تحقیق انتخاب و متدولوژی مذکور در مورد آن به کار گرفته شده و بهترین گزینه تعیین شد.

۱. مقدمه

اهمیت مسیرهای آبی، دریا ها و اقیانوس ها بعنوان بهترین مسیر مقرون به صرفه، جهت حمل کالا های تجاری باعث گرایش بیشتر کشورها و تولید کنندگان برای حمل کالا توسط شناورها، و استفاده مطلوب از امکانات و تسهیلات آنها گردیده است. از اینرو یکی از صنایع مادر و زیر ساخت‌های اقتصادی و استراتژیک هر کشور، داشتن بنادر مجهز به تأسیسات و امکانات لازم جهت ارائه خدمات بندری به شرکتهای کشتیرانی‌های داخلی و خارجی است. بدون داشتن چنین امکاناتی، کشور ها قادر به داشتن خطوط کشتیرانی موفقی نخواهند بود از طرف دیگر، در صورت عدم وجود این امکانات، ورود و خروج کشتی ها با پرچم خارجی نیز، به کشور، به حداقل رسیده و در نتیجه حمل و نقل کالا به آن کشور ها با هزینه های گزاف مواجه گردید، لذا هر کشور و دولت مستقلی، سعی در داشتن چنین امکاناتی با بهترین شرایط از نظر اقتصادی و تکنولوژیکی می نماید [۱].

با توجه به گرایش روزافزون ناوگان حمل و نقل دریایی جهان در جهت کانتینریزه نمودن کالا به منظور برخورداری از مزایای آن و همچنین ضرورت برنامه‌ریزی کلان حمل و نقل به منظور ترانزیت کالای کشورهای آسیای میانه از طریق ایران، جهت پاسخگویی به نیازهای واردات و صادرات کشور این سوال در ذهن ایجاد می‌شود که امکانات و تجهیزات بندری موجود تا چه میزان پاسخگوی نیاز واردات و صادرات از طریق حمل و نقل کانتینری خواهد بود.

به این منظور، این پژوهش سعی دارد تا با ارائه مدلی با بهره گیری از مفاهیم و محاسبات سیستم های صف و تکنیک شبیه

تاریخ وصول: ۸۹/۳/۲۲
تاریخ تصویب: ۸۹/۸/۵

علی محتشمی، مدرس دانشگاه آزاد اسلامی قزوین، Mohtashami@st.atu.ac.ir
***نویسنده مسئول مقاله: دکتر محمدعلی خاتمی فیروزآبادی**، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی، smakhf@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

سازی، به ۱) تحلیل سیستم و ۲) شناسایی و انتخاب مطلوب طرح های فیزیکی موجود جهت توسعه و بهبود عملکرد سیستم بپردازد. منظور از بهبود عملکرد سیستم در این تحقیق، کاهش زمان عملیات تخلیه و بارگیری در بندر و به سبب آن افزایش جابجایی کانتینر (شامل واردات و صادرات) است که این امر با توجه به بررسی طرح ها و همچنین با در نظر گرفتن اهداف و معیار هایی که در ادامه توضیح داده خواهند شد، میسر می شود. لازم به توضیح است که در این مدل، طرح ها قابلیت این را دارند که با توجه به شرایط مسئله به صورت مجزا و یا ترکیبی انتخاب شوند.

۲. پیشینه تحقیق

برای تخصیص تجهیزات به بنادر و ارتقای سطح خدمت دهی به آنها تحقیقات متنوعی انجام شده است. بیرورت و میسل جهت حل مسئله تخصیص اسکله ها و زمان بندی اسکله ها به تمرکز بر رویکرد های حل یکپارچه که از اهمیت فزاینده ای در مدیریت ترمینال برخوردار است استفاده کردند [۲].

از سوی دیگر لی و همکارانش به ارائه یک مدل کارا برای زمان بندی گنتری کرین ها پرداختند [۳]. متیو و همکارانش به بررسی اثر طول بلوک ها و سیستم های توسعه جرثقیل ها بر روی عملکرد کلی یک ترمینال کانتینری پرداختند [۴]. اللهویرانلو و افندیزاده به ارائه مدلی جهت بهینه سازی سرمایه گذاری در توسعه بندر به وسیله برنامه ریزی عدد صحیح فازی پرداختند[۵]. کانگ و همکارانش نیز به ارائه عملیات بهینه ناوگان حمل و نقل (جرثقیل و لیفتراک ها) برای فعالیت های تخلیه در بندر های کانتینری پرداختند [۶]. ژانگ و همکارانش به ارائه یک الگوریتم جستجوی ممنوعه برای مسئله حمل و نقل در ترمینال کانتینری پرداختند [۷]. انگلودیس و بل الگوریتمی جهت تخصیص وسایل نقلیه خودکار برای ترمینال های کانتینری خودکار ارائه دادند [۸]. همچنین الاتار و همکارانش به شبیه سازی صف های کانتینری جهت تصمیمات سرمایه گذاری پرداختند. تجهیزات مورد بررسی در این مطالعه، محدود به اسکله ها و جرثقیل ها بوده و هدف از این تحقیق، ارزیابی و تحلیل اثربخشی راه حل پیشنهادی پیش از سرمایه گذاری بود [۹]. نظری مدلی جهت ارزیابی محوطه کانتینری و بررسی دو نوع چیدمان کانتینرها در محوطه کانتنیری با استفاده از شبیه سازی پرداخت [۱۰].

هدف و وجه تمایز مطالعه حاضر نسبت به تحقیقات پیشین این است که این تحقیق در پی شناسایی و انتخاب مطلوب طرح های فیزیکی موجود جهت توسعه و بهبود عملکرد سیستم است. منظور از بهبود عملکرد سیستم، افزایش حجم تخلیه و بارگیری در بندر است که این امر با تخصیص مناسب تجهیزات حاصل می شود. انتخاب گزینه مناسب در این سیستم می تواند منجر به ۱) کاهش زمان تخلیه و بارگیری در بندر، ۲) کاهش زمان ماندن کشتی‌ها در سیتم و ۳) افزایش حجم تخلیه و بارگیری کانتینرها شود. متدولوژی حاضر با در نظر گیری مهم‌ترین عوامل در ترمینال‌های کانتینری که برروی حجم تخلیه و بارگیری کانتینرها موثرند و همچنین در نظر گیری شاخص‌های مختلف جهت تصمیم گیری به امر یافتن مناسب‌ترین گزینه جهت بهبود سیستم می‌پردازد.

۳. متدولوژی پیشنهادی

متدولوژی پیشنهادی در این مطالعه از ترکیب روش های تصمیم گیری چند معیاره و شبیه سازی بهره می برد و در مراحل ذیل خلاصه می‌شود:

- شناسایی آلترناتیو های کلی بهبود دهنده سیستم
- شناسایی معیار های مهم جهت تصمیم گیری
- تعیین مشخصات هر یک از آلترناتیو های کلی بر روی هر یک از شاخص ها
- محاسبه اهمیت نسبی معیار های تصمیم گیری توسط روش AHP
- شبیه سازی شبکه صف وضعیت فعلی سیستم
- بدست آوردن ترکیب های مختلف از آلترناتیو های بهبود دهنده سیستم
- تعیین مشخصات مربوط به هر ترکیب در مورد هر شاخص تصمیم گیری
- بدست آوردن ترکیب مطلوب افزایش آلترناتیو ها با توجه به معیار های تصمیم گیری توسط روش TOPSIS

۴. مطالعه موردی

یکی از مهم ترین بنادر ایران در زمینه نقل و انتقالات کالا های کانتینری، بندر شهید رجایی می باشد. این بندر از طریق راه های دریایی، راه آهن، جاده های ترانزیتی و راه های هوایی با کلیه مناطق داخلی و دیگر کشور های جهان مرتبط است و در حال حاضر بخش عظیمی از مبادله های کالا های تجاری بین ایران و کشور های دیگر از طریق این بندر انجام می شود [۱]. هدف در این مطالعه تعیین افزایش تجهیزات به نحو مطلوب می باشد. به عبارت دیگر مدیران بندر خواهان آن هستند که ترکیب افزایش تجهیزات را به نحوی تعیین نمایند که تا حد امکان بیشترین مطلوبیت برای سیستم محقق شود. این امر با استفاده از متدولوژی پیشنهادی مورد بررسی قرار می گیرد.

۴-۱. شناسایی آلترناتیوهای کلی بهبود دهنده سیستم

در این تحقیق سعی شده تا از بین عوامل تأثیر گذار بر سیستم، مهم‌ترین عوامل که بیشترین تأثیر را بر کارایی سیستم می‌گذارند با در نظر گیری ادبیات موضوع و نظرات خبرگان به عنوان آلترناتیو های اصلی در نظر گرفته شوند که عبارتند از:

Archive of SID
www.SID.ir

- افزایش تعداد اسکله (جهت پهلو گیری کشتی ها) - اسکله کانتینری، اسکله ای است که در آن فقط کشتی های کانتینری به عملیات تخلیه و بارگیری می پردازند. بنادر معمولاً اسکله هایی برای کاربری های دیگر نیز دارند، مانند نفتی، روغنی، مسافری، تجاری، که هر اسکله با توجه به کاربری خود، اقدام به ارائه خدمات به کشتی ها می نماید [۲]و [۱۱].
- افزایش تعداد گنتری کرین (جهت تخلیه و بارگیری کانتینرها) - این جرثقیل ها در ترمینال های کانتینری جهت تخلیه و بارگیری کانتینر مورد استفاده قرار می-گیرند. این وسیله روی ریل حرکت می کند و توسط برق ساحل کار می کند [۳]و [۱۲].
- افزایش تعداد ترانستینر (جهت صفافی کانتینر ها در محوطه های کانتینری) – نوعی از تجهیزات است که جهت جابجایی و صفافی کانتینر ها مورد استفاده قرار می گیرد [۱۲].
- افزایش تعداد ریچ استاکر (جهت صفافی کانتینر ها در محوطه های کانتینری) – نوعی از تجهیزات است که جهت جابجایی کانتینر ها در محوطه کانتینری استفاده می شود [۱۳].

۲-۴. شناسایی معیار های مهم جهت تصمیم گیری

در این مطالعه سعی شده تا از بین شاخص ها و معیار های موجود جهت تصمیم گیری در مورد ارتقای بندر، مهم ترین عوامل که بیشترین تأثیر را بر عملکرد بندر می‌گذارند با در نظر گیری نظر خبرگان و با مطالعه ادبیات موضوع انتخاب شوند که عبارتند از:

- هزینه اجرای هر ترکیب [۶].
- عمر مفید اجرای هر ترکیب
- مدت زمان تحویل و آماده سازی هر ترکیب
- میزان افزایش حجم تخلیه و بارگیری سالیانه بندر در صورت اجرای هر ترکیب

لازم به توضیح است که در بین شاخص های فوق، تنها شاخص اول یعنی هزینه از ادبیات موضوع استخراج شد. به عبارت دیگر به نظر می‌رسد که محققین پیشین مسئله حاضر را بدون در نظرگیری شاخص‌هایی چون عمر مفید، مدت زمان تحویل و حجم تخلیه و بارگیری سالیانه مد نظر قرار دادند. با توجه به اینکه مطالعه حاضر صرفاً به دنبال ارائه یک مدل حل مسئله نبوده و سعی در در نظر گیری شرایط واقعی بنادر را دارد، به همین جهت با استفاده از نظرات خبرگان این زمینه شاخص های دیگری نیز به مدل اضافه شد که این امر به عنوان وجه تمایز دیگری نسبت به مطالعات پیشین به حساب رفته و عبارتند از: عمر مفید، مدت زمان تحویل و میزان افزایش حجم تخلیه و بارگیری سالیانه بندر در صورت اجرای هر ترکیب.

۳-۴. تعیین مشخصات هر یک از آلترناتیو های کلی بر روی هر یک از شاخص ها

جدول ۱ نشان دهنده وضعیت فعلی ترمینال کانتینری به جهت تعداد تجهیزات، عمر مفید تجهیزات، مدت زمان آماده سازی و تحویل و هزینه هر یک از تجهیزات می باشد.

جدول ۱. بررسی وضعیت موجود بندر به لحاظ تعداد تجهیزات، عمر مفید، هزینه و مدت زمان آماده سازی و تحویل

تجهیزات	تعداد	عمر مفید	قیمت / هزینه	مدت زمان تحویل
اسکله	۵	۷۰ سال	۲۰،۰۰۰،۰۰۰ یورو	۲ سال
گنتری کرین	۱۰	۲۵ سال	۷،۰۰۰،۰۰۰ یورو	۱۸ ماه
ترانستینر	۱۴	۲۵ سال	۲،۰۰۰،۰۰۰ یورو	۱۸ ماه
ریچ استاکر	۲۰	۱۵ سال	۴۰۰،۰۰۰ یورو	۶ ماه

لازم به توضیح است که اعداد و ارقام ستون های تعداد، عمر مفید، قیمت / هزینه و مدت زمان تحویل برای هر یک از تجهیزات با استفاده از نظرات خبرگان این امر در سازمان بنادر و دریانوردی و همچنین بندر شهید رجایی استخراج شده است.

شاخص چهارم یعنی «میزان افزایش حجم تخلیه و بارگیری سالیانه بندر در صورت اجرای هر ترکیب» در این جدول وجود ندارد چرا که اعداد مربوط به این شاخص از شبیه سازی ترکیبات به دست خواهد آمد.

۴-۴. محاسبه اهمیت نسبی معیار های تصمیم گیری توسط روش AHP

یکی از مراحل مهم در چنین مسئله ای تعیین اهمیت نسبی هر یک از شاخص‌های تصمیم‌گیری است. یکی از کارآمدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری در این زمینه روش AHP (Analytical Hierarchy Process) یا فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است که برای اولین بار توسط توماس ال ساعتی

Archive of SID
www.SID.ir

در ۱۹۸۰ مطرح شد. این تکنیک بر اساس مقایسات زوجی بنا نهاده شده و امکان بررسی سناریو ها مختلف را به مدیران می دهد [۱۴].

با توجه به کارایی مناسب روش AHP در مقایسات زوجی عوامل، این روش جهت تعیین وزن نسبی عوامل انتخاب شده است. با در نظر گیری چند بعدی بودن مسئله می توان از AHP گروهی بهره برده تا نظرات کارشناسان و تصمیم گیرندگان سیستم به نحو احسن مد نظر قرار گیرد. برای این منظور نظرات خبرگان و کارشناسان با بهره گیری از میانگین هندسی، ادغام شده و اهمیت آنها محاسبه شده و در جدول ۲ قابل مشاهده است.

جدول ۲. وزن نسبی شاخص های تصمیم گیری

شاخص	وزن
هزینه	۰/۱۴۲۰
عمر مفید	۰/۲۹۵۹
مدت زمان تحویل	۰/۰۵۷۱
حجم تخلیه و بارگیری سالیانه	۰/۵۰۵۰

۴-۵. شبیه سازی شبکه صف وضعیت فعلی سیستم

هر سیستمی که در آن خدمتی ارائه می شود و مشتری نیازمند آن خدمت باشد، تشکیل سیستم صف را می دهد. در یک سیستم صف چند مولفه اصلی وجود دارد، که عبارتند از: مشتری، الگوی ورود مشتریان، خدمت، خدمت دهنده و جمعیت بالقوه مشتریان، به طوری که مشتری وارد سیستم می شود و در صف انتظار جهت دریافت خدمت می ایستد، پس از انتظار خدمت دریافت می کند و بعد از دریافت خدمت از سیستم خارج می شود [۱۵]. شبیه سازی در فرهنگ لغت وبستر به معنای «وانمود کردن» یا «نائل شدن به اصل چیزی بدون واقعیت» است [۱۶].

همانگونه که از مفهوم لغوی واژه «شبیه سازی» استنباط می شود، برای بررسی وضعیت موجود و شرایط آینده کار یک سیستم، ممکن است «مدلی» که از نظر خصوصیات و شرایط حتی الامکان «شبیه» به سیستم اصلی است، ساخته شود. آنگاه وضعیت کار مدل مورد بررسی قرار گرفته و در نتیجه از شرایط کار سیستم اصلی اطلاع حاصل می شود [۱۷].

مطالعه حاضر در پی شناسایی مناسب ترین آلترناتیو جهت بهبود سیستم و ارتقای بنادر است. یکی از شاخص هایی که در این مطالعه مد نظر است، میزان افزایش حجم تخلیه و بارگیری سالیانه است. با توجه به اینکه اجرای هر یک از آلترناتیو ها و بررسی تأثیر آنها بر روی عملکرد سیستم میسر نبوده و توجیه اقتصادی ندارد و همچنین توابع توزیع ورود کشتی ها و خدمت دهنده ها در این سیستم صف ممکن است غیر نمایی بوده و در قالب هیچ یک از مدل های تئوری صف قرار نگیرد، بنابراین در این متدولوژی جهت بررسی تأثیر آلترناتیوهای مختلف، سیستم در حالت موجود شبیه سازی شده و آلترناتیو های بهبود دهنده به صورت مجازی و از طریق شبیه سازی بررسی می شوند. جدول ۳ نشان دهنده توابع توزیع مدت زمان بین دو ورود کشتی، تعداد کانتینر تخلیه و بارگیری شده و مدت زمان های خدمت دهی در این مسئله می باشد. لازم به توضیح است که توابع توزیع ذیل با استفاده از قسمت Input Analyzer نرم افزار ARENA بر روی داده ها برازش شده اند.

جدول ۳. توابع توزیع

نوع داده	تابع توزیع
مدت زمان بین ورود دو کشتی	GAMM(۵۶۵, ۱/۴۰)
تعداد کانتینر تخلیه شده	WEIB(۳۱۵۰, ۱۱)
تعداد کانتینر بارگیری شده	WEIB(۲۳۴۰, ۸/۱)
مدت زمان عملیات گنتری کرین	EXP(۱/۹۶, ۰/۴۲۷)
مدت زمان عملیات کشنده	NORM (۱/۲۰, ۰/۰۶)
مدت زمان عملیات ریچ استاکر	GAMM (۱/۱۷, ۱/۱)
مدت زمان عملیات ترانستینر	NORM (۴/۲۹, ۲/۵۱)
مدت زمان عملیات تاپ لیفتراک	WEIB (۲/۱۱, ۱/۵)

جهت شبیه‌سازی وضع موجود سیستم و همچنین شبیه‌سازی آلترناتیو های بهبود دهنده در این مقاله از نرم‌افزار ARENA استفاده شده است. شکل ۱ شمایی کلی از یک ترمینال کانتینری را نشان می‌دهد. وقتی کشتی نوبت پهلو گیری دریافت می‌کند به کنار اسکله هدایت می‌شود. پس از پهلو گیری، گنتری کرین ها (Quay Crane) به عملیات تخلیه / بارگیری کشتی می‌پردازند. در عملیات تخلیه سپس کانتینرها توسط ترانستینرها و ریچ استاکرها در محوطه کانتینری صفافی می‌شوند. عملیات بارگیری عکس حالت تخلیه رخ می‌دهد و تمام فرآیندها به صورت معکوس اتفاق می افتند.

۴-۵-۱. اعتبار سنجی مدل

اعتبار مدل طراحی شده در این پروژه از دیدگاه های مختلفی مورد تجزیه و تحلیل و بررسی قرار گرفته که در ادامه توضیح داده شده است. یکی از این دیدگاه ها مبتنی بر مقایسه مدل ذهنی با رمزی کامپیوتری است که مدل ذهنی را در قالب مدلی کاربردی معرفی می کند. در اینجا این سوال مطرح می شود که: آیا مدل به طرز صحیحی در قالب رمزی کامپیوتری معرفی شده است؟ و آیا رمز کامپیوتری به درستی ساختار منطقی مدل و پارامترهای ورودی آن را معرفی می کند؟[۱۸]. برای بررسی تطابق مدل طراحی شده با سیستم موجود، مدل شبیه سازی مورد اجرا قرار گرفت و با پایین آوردن سرعت حرکت (سرعت شبیه سازی)، روند حرکت کانتینرها در مدل مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت و در صورت مشاهده مغایرت مدل با سیستم

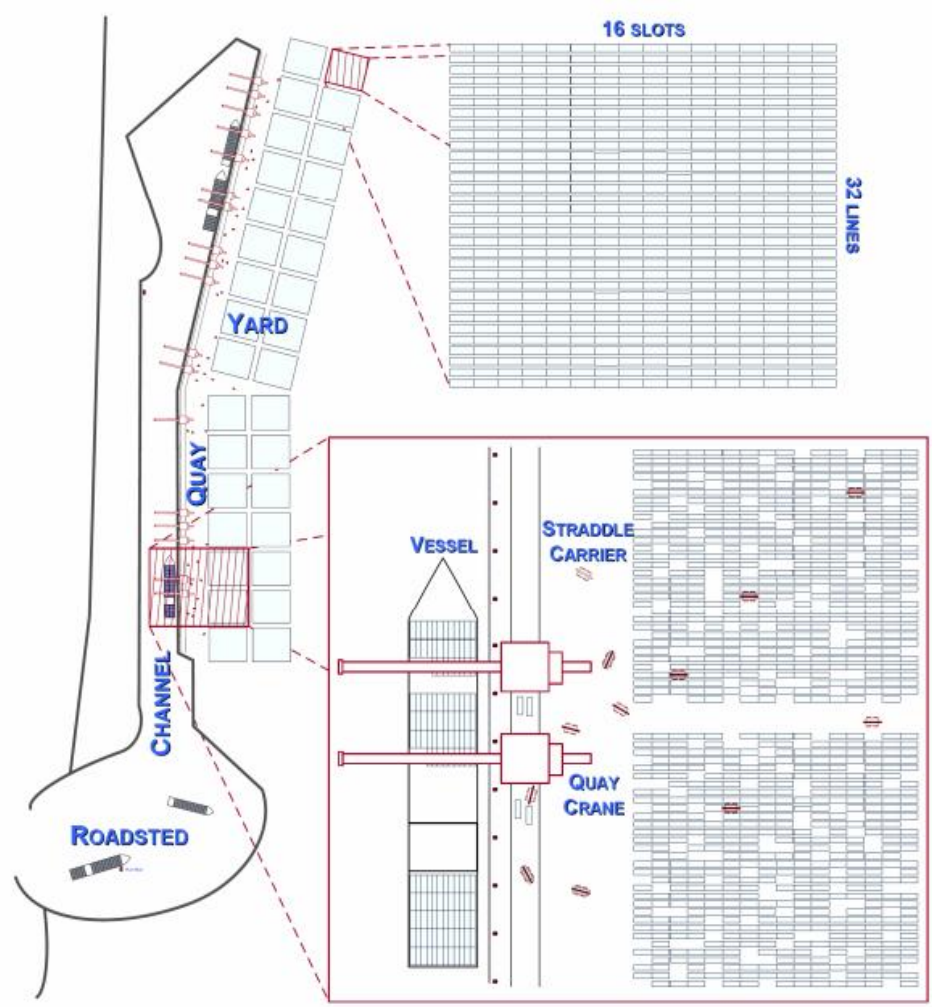
Archive of SID
www.SID.ir

واقعی، مدل مورد اصلاح قرار گرفت. همچنین مدل شبیه سازی شده به ازای مقادیر مختلف پارامترهای ورودی مورد بررسی قرار گرفت و منطقی بودن خروجی‌های مدل به دقت مورد ارزیابی قرار گرفت و صحت آن تاییدشد. این فرآیند تا زمانی که منطق مدل به طور کامل حاصل شد ادامه یافت، تا در نهایت مدل حاضر ارائه گشت.

یکی دیگر از دیدگاه ها جهت ارزیابی اعتبار مدل، مقایسه خروجی‌های مدل با آمار و ارقام حاصل از عملکرد سیستم در گذشته است. به این منظور پس از اینکه از عملکرد مدل اطمینان حاصل شد، مدل شبیه سازی شده برای ۳۶۵ روز کاری (معادل ۱ سال) برای 117 دوره شبیه سازی شد. لازم به توضیح است که با توجه به بررسی مشاهدات اولیه برروی مدل شبیه سازی و محاسبه میانگین و انحراف معیار داده‌های خروجی، عدد ۱۱۷ با استفاده از رابطه محاسبه تعداد نمونه، بدست آورده شد. مقایسه‌ی بین ارقام بدست آمده از شبیه‌سازی و آمار و ارقام موجود از سیستم واقعی در جدول ۴ قابل مشاهده است. همانطور که مشاهده می‌شود درصد اختلاف تعداد کانتینر تخلیه شده از شبیه سازی با آمار واقعی تخلیه در سال ۲۰۰۸، ۰،۲۵۹ و درصد اختلاف تعداد کانتینر بارگیری شده از شبیه سازی با آمار واقعی بارگیری در سال ۲۰۰۸، ۰،۲۶۰ می باشد که این اعداد و ارقام به تأیید اعتبار مدل کمک می کنند.

جدول ۴. مقایسه خروجی شبیه سازی و آمار تخلیه و بارگیری در سال ۲۰۰۸

آمار واقعی تخلیه و بارگیری در سال ۲۰۰۸ [۱۹]	میانگین بدست آمده از شبیه سازی	آیتم
۶۳۶،۴۹۳	۶۳۴،۸۴۶	تعداد کانتینر تخلیه شده
۶۱۸،۹۱۳	۶۱۷،۳۰۴	تعداد کانتینر بارگیری شده



شکل۱. شمایی از یک ترمینال کانتینری

www.SID.ir

۶-۴. بدست آوردن ترکیب‌های مختلف از آلترناتیوهای بهبوددهنده سیستم

جهت دستیابی به آلترناتیو های ترکیبی در این مطالعه لازم است که حد پایین و بالایی برای افزایش هر یک از تجهیزات تعیین شود. این امر از طریق مصاحبه با خبرگان مورد تجزیه و تحلیل و بررسی قرار گرفت. با توجه به مسائل و محدودیت‌های جغرافیایی (بخصوص برای افزایش تعداد اسکله ها)، بودجه، ترافیک (افزایش ترافیک محوطه و کاهش راندمان)، نیروی انسانی، وابستگی‌های تعدادی تجهیزات بر طبق استاندارد ها (برای مثال اگر اسکله ای به سیستم اضافه نشود هیچ گنتری کرین جدیدی نمی تواند به سیستم اضافه شود چون تعداد گنتری کرین ها وابسته به تعداد اسکله‌ها می‌باشد؛ برای تجهیزات دیگر نیز وضع به همین منوال است) و مسائل استراتژیک، حد بالای افزایش تجهیزات و تسهیلات برای اسکله ۲، گنتری کرین ۵، ترانستینر ۷ و ریچ استاکر ۹ تعیین شد. بنابراین تعداد کل آلترناتیو های ترکیبی در این مسئله عبارتند از ۱۴۴۰ که از ضرب تعداد حالات هر یک از تجهیزات / تسهیلات در یکدیگر به دست می آید، به این صورت که برای مثال تعداد حالات افزایش اسکله ۳ می‌باشد (افزایش صفر اسکله، یک اسکله یا دو اسکله) و یا تعداد حالات افزایش گنتری کرین ۶ می باشد (افزایش صفر، یک، دو، سه، چهار، پنج یا شش گنتری کرین). جدول ۵ بخش هایی از آلترناتیو های ترکیبی را نشان می دهد.

جدول ۵. بخش هایی از آلترناتیو های ترکیبی ایجاد شده

ردیف	اسکله	گنتری کرین	ترانستینر	ریچ استاکر
۱	۰	۰	۰	۰
۲	۰	۰	۰	۱
۳	۰	۰	۰	۲
۴	۰	۰	۰	۳
۵	۱	۱	۱	۱
۶	۱	۱	۲	۲
۷	۱	۲	۳	۵
۸	۰	۲	۳	۲
۹	۱	۲	۲	۷
۱۰	۰	۴	۳	۹
۱۱	۱	۲	۱	۶
۱۲	۲	۳	۴	۲

برای مثال ردیف ۱۰ آلترناتیوی را نشان می دهد که در آن افزایش اسکله وجود ندارد اما ۴ گنتری کرین، ۳ ترانستینر و ۹ ریچ استاکر به سیستم اضافه می شود و هدف انتخاب بهترین آلترناتیو از بین این ۱۴۴۰ حالت می باشد. همانطور که پیشتر ذکر شد افزایش تجهیزات با محدودیت هایی روبروست (نظیر بودجه، وابستگی های تجهیزات و . . .)؛ بنابراین از بین ۱۴۴۰ آلترناتیو ترکیبی ایجاد شده، ۵۸۶ مورد خارج از محدودیت های در نظر گرفته شده شناخته شد که از مجموعه آلترناتیو ها حذف شده و در نهایت ۸۵۴ آلترناتیو نهایی جهت رتبه بندی باقی ماندند.

۷-۴. تعیین مشخصات مربوط به هر ترکیب در مورد هر شاخص تصمیم گیری

تعیین مشخصات هر ترکیب بر روی هر شاخص برای شاخص های هزینه، عمر مفید و مدت زمان تحویل با استفاده از جدول ۱ به صورت ذیل قابل دستیابی است:

- *هزینه اجرای هر ترکیب*

$$\sum_{i=1}^{4} C_i \times X_i \qquad (۱)$$

که در آن X_i نشان دهنده تجهیز مورد نظر (اسکله، گنتری کرین، ترانستینر، ریچ استاکر) و C_i نشان دهنده هزینه افزایش یک واحد از تجهیز می باشد.

- *عمر مفید هر ترکیب*

$$\sum_{i=1}^{4} L_i \times X_i \qquad (۲)$$

که در آن L_i نشان دهنده طول عمر مفید افزایش یک واحد از تجهیز می باشد.

- *مدت زمان تحویل هر ترکیب*

$$\max(D_1, D_2, D_3, D_4) \qquad (۳)$$

که در آن D_i نشان دهنده مدت زمان تحویل / ساخت هر یک از تجهیزات می باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

برای مثال اگر آلترناتیوی به صورت افزایش ۱ اسکله، ۱ گنتری کرین، ۱ ترانستینر و ۱ ریچ استاکر وجود داشته باشد، مدت زمان تحویل / ساخت کلی این آلترناتیو (با توجه به جدول ۱) برابر ۲ سال می باشد.

- *میزان افزایش حجم تخلیه و بارگیری سالیانه بندر در صورت اجرای هر ترکیب*

جهت محاسبه این شاخص برای هر ترکیب از شبیه سازی استفاده شده است. به این صورت که هر یک از ترکیبات با اعمال تغییراتی بر روی مدل اصلی شبیه سازی، در نرم افزار ARENA شبیه سازی شده و میزان حجم تخلیه و بارگیری در صورت اجرای آن ترکیب مشاهده شده است.

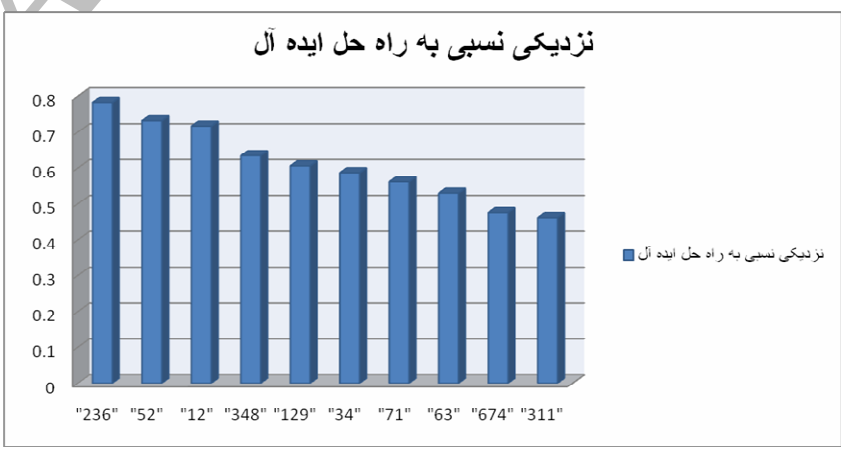
۸-۴. بدست آوردن ترکیب مطلوب افزایش آلترناتیوها با توجه به معیارهای تصمیم گیری توسط روش TOPSIS

در نهایت با محاسبه مقادیر هر یک از آلترناتیوهای ترکیبی برای هر یک از شاخص‌های تصمیم گیری، ماتریس تصمیم گیری تشکیل شد. این ماتریس یک ماتریس ۴ X ۸۵۴ می باشد که شامل ۸۵۴ سطر (تعداد آلترناتیو های موثر) و ۴ ستون (شاخص-های تصمیم گیری) می‌باشد. برای تجزیه و تحلیل این ماتریس (با توجه به حجم بالای محاسبات) الگوریتم TOPSIS در نرم افزار Excel طراحی شد و فرآیند رتبه بندی بر روی آن اعمال شد. جدول ۶، ۱۰ آلترناتیوی که در بالای این جدول قرار گرفتند و بالاترین رتبه را دارا می باشند را نشان می دهد.

جدول ۵، ده گزینه اول را در رتبه بندی ۸۵۴ آلترناتیو با ۴ شاخص تصمیم گیری نشان می دهد. بهترین آلترناتیو (رتبه اول) نشان دهنده افزایش ۱ اسکله، ۲ گنتری کرین، ۵ ترانستینر و ۸ ریچ استاکر می باشد. همچنین آلترناتیو های رتبه ۱ تا ۱۰ در شکل ۲ به صورت شماتیک قابل مقایسه می باشند. نکته جالب توجه در مورد این رتبه بندی این است که افزایش ۲ اسکله که به نظر می رسید تأثیر بسزایی بر عملکرد بندر داشته باشد و انتظار می رفت جزء آلترناتیو های اول قرار گیرد در ۷ گزینه اول قرار نگرفت و افزایش ۱ اسکله به مجموعه پیشنهاد شد.

جدول ۶. رتبه بندی آلترناتیو های ترکیبی

آلترناتیو	اسکله	گنتری کرین	ترانستینر	ریچ استاکر	نزدیکی نسبی به راه حل ایده آل
۲۳۶	۱	۲	۵	۸	۰،۷۸۳۱۴۴۰۹۶
۵۲	۱	۳	۵	۶	۰،۷۳۲۱۵۶۱۸۷
۱۲	۱	۲	۴	۶	۰،۷۱۷۰۸۳۱۱۲
۳۴۸	۱	۲	۳	۵	۰،۶۳۴۴۲۴۵۴۱
۱۲۹	۱	۴	۶	۳	۰،۶۰۶۰۵۲۱۶۶
۳۴	۱	۳	۵	۴	۰،۵۸۶۸۲۱۳۷۴
۷۱	۱	۲	۷	۴	۰،۵۶۱۶۱۴۴۴۰
۶۳	۲	۳	۴	۶	۰،۵۳۰۵۳۰۳۱۶
۶۷۴	۲	۴	۳	۷	۰،۴۷۵۸۱۹۷۱۲
۳۱۱	۲	۱	۶	۳	۰،۴۶۱۹۰۱۶۶۲



شکل۲. مقایسه آلترناتیو های رتبه ۱ الی ۱۰

Archive of SID
www.SID.ir

۵. جمع بندی و نتیجه گیری

مطالعه حاضر به بررسی افزایش مطلوب طرح های بهبود دهنده در ترمینال های کانتینری پرداخته و جهت این امر از یک متدولوژی پیشنهادی بهره برده و متدولوژی پیشنهادی را در مجموعه ترمینال کانتینری بندر شهید رجایی به کار بست. متدولوژی پیشنهادی مشتمل بر ۴ آلترناتیو کلی (افزایش اسکله، افزایش گنتری کرین، افزایش ترانستینر و افزایش ریچ استاکر) و ۴ شاخص تصمیم گیری (هزینه، عمر مفید، مدت زمان تحویل، حجم تخلیه و بارگیری سالیانه) بود. با در نظر گیری ۴ آلترناتیو کلی و همچنین محدودیت‌هایی که سیستم با آن روبرو بود، ۸۵۴ آلترناتیو جهت بهبود سیستم شناسایی شد که این ۸۵۴ آلترناتیو با بهره‌گیری از ابزارهای تصمیم گیری چند معیاره (AHP و TOPSIS) و همچنین شبیه‌سازی کامپیوتری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و بهترین آلترناتیو در دامنه شاخص های مطرح شده شناسایی شد که عبارت بود از افزایش ۱ اسکله، ۲ گنتری کرین، ۵ ترانستینر و ۸ ریچ استاکر که با در نظر گیری جدول ۱ هزینه ای حدود ۴۷،۲۰۰،۰۰۰ یورو را در بر خواهد داشت. با توجه به مقادیر به دست آمده از شبیه سازی بهترین آلترناتیو انتخاب شده، آلترناتیو فوق بیانگر این نکته است که در صورت اجرای این آلترناتیو می‌توان انتظار داشت که عملکرد سیستم (توان عملیاتی ترمینال کانتینری) حدود ۶۳،۶ درصد بالاتر از وضع فعلی رود که این رقم می‌تواند نوید بخش افزایش حجم واردات و صادرات از بندر فوق و افزایش توان رقابتی بندر فوق و البته کشور ایران در مقایسه با بنادر دیگر منطقه گردد. با توجه به ساختار متدولوژی پیشنهادی این تحقیق به نظر می رسد که متدولوژی ارائه شده در این تحقیق قابلیت تعمیم به ترمینال های کانتینری بنادر دیگر را داشته و با کمی تغییر، قابلیت تعمیم به بنادر دیگر با کاربری های متفاوت را نیز دارا می باشد. با توجه به بستر مناسب در تحقیق فوق جهت تحقیقات آتی، در ذیل پیشنهاداتی جهت این امر ارائه می شود:

۱. در پروژه حاضر بهبود سیستم از نقطه نظر افزایش تعداد تجهیزات موثر در امر تخلیه و بارگیری مورد ارزیابی قرار گرفت و افزایش توان تجهیزات موجود با استفاده از برخی راهکار ها مد نظر قرار نگرفت، بنابراین پیشنهاد می شود که در تحقیقات آتی به این امر نیز پرداخته شود.
۲. در پروژه حاضر افزایش تجهیزات به صورت توان واحد در نظر گرفته شد. به عبارت دیگر، ظرفیت ها و توناژ های مختلفی که هر یک از تجهیزات می توانند داشته باشند در نظر گرفته نشده است. بنابراین پیشنهاد می شود هر یک از تجهیزات به صورت یک مجموعه از تجهیزاتی با ظرفیت ها و توناژ های مختلف در نظر گرفته شوند و اثر افزایش هر کدام از آنها در سیستم بررسی شود.
۳. دامنه اجرایی پروژه حاضر محدود به ترمینال کانتینری می باشد. بنابراین پیشنهاد می گردد ترمینال های دیگر نیز مد نظر قرار گیرند.
۴. در پروژه حاضر، خرابی، از کار افتادگی، خارج از دسترس بودن و مدت زمان لازم جهت تعمیر تجهیزات، در مدل گنجانده نشده که پیشنهاد می گردد این عامل نیز مد نظر قرار گیرد.

فهرست منابع

[۱] مشتریخواه، خسرو، محبی، عبدالرضا، «فرهنگ جامع دریایی»، انتشارات مرکز تحقیقات و آموزش راه وترابری، صفحه ۷۳-۸۱، ۱۳۷۸.

[۲] طاهری، حسین، «تخلیه و بارگیری و تجهیزات مربوطه»، مرکز آموزش علوم و فنون دریایی، ۲۳، ۱۳۷۵.

[۳] یاکو، دبروین، «کتاب جامع ترمینال کانتینری»، ترجمه سعید ممدوحی. انتشارات اسرار دانش، صفحه ۴۳-۵۸، ۱۳۷۸.

[۴] قدسی پور. حسن. (۱۳۸۵). «فرآیند تحلیل سلسله مراتبی». تهران: دانشگاه صنعتی امیر کبیر، مرکز نشر.

[۵] ایروانی، سید محمد رضا، «سیستم‌های صف»، تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، صفحه ۱۷۳، ۱۳۷۲.

[۶] شانون، رابرت، «علم و هنر شبیه‌سازی سیستم ها»، ترجمه علی اکبر عرب مازار، انتشارات نشر دانشگاهی، صفحه ۱۴،۱۳۷۱.

[۷] شیر محمدی، علی، «برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات (مدیریت فنی)»، انتشارات غزل، صفحه ۳۵، ۱۳۷۷.

[۸] بنکس، جری، و کارسن، جان، «شبیه سازی سیستم های گسسته – پیشامد»، ترجمه هاشم محلوجی. انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، صفحه ۲۷، ۱۳۸۲.

[۹] پایگاه اطلاع-رسانی شرکت تاید واتر خاورمیانه به نشانی http://www.mytcts.com.

[۱۰] پایگاه اطلاع رسانی بندر شهید رجایی به نشانی http://www.shahidrajaeeport.ir

[11] Bierwith C., Meisel, F., *A Survey of Berth Allocation and Quay Crane Scheduling Problems in Container Terminals*, European journal of operational research Vol. 202, No.4, 2010, pp. 615 - 627.

[12] Li, W., Wu, Y, Petering, M., Goh, M., De souza, R., *Discrete Time Model and Algorithms for Container Yard Crane Scheduling*, European journal of operational research Vol 198, No.2, 2008, pp. 165 – 172.

Archive of SID
www.SID.ir

[13] Matthew, E.H., Petering, k., Murty, G., *Effect of Block Length and Yard Crane Deployment Systems on Overall Performance at a Seaport Container Transshipment Terminal*, Computers & operations research Vol. 36, No.4, 2008, pp. 1711 – 1725.

[14] Allahviranloo, M., Afandizadeh, S., *Investment Optimization on Port's Development by Fuzzy Integer Programming*. European Journal of Operational Research Vol. 186, No.2, 2008, pp. 423-434.

[15] Kang, S., Medina, C., Ouyang Y., *Optimal Operations of Transportation Fleet for Unloading Activities at Container Ports*, Transportation research, Vol 103, No.2, 2008, pp. 160-173.

[16] Zhang, R., Young, Y., Won, M., *A Reactive Tabu Search Algorithm for Multi – Depot Container Truck Transportation Problem*, Transportation research Vol. 45, No.1, 2009, pp. 904 – 914.

[17] Angeloudis, P., Bell, M., *An Uncertainty Aware AGV Assignment Algorithm for Automated Container Terminal*, Transportation research, Vol. 117, No.3, 2009, pp. 1-13.

[18] Alattar, M., Karkare, B., Rajhans, N., *Simulation of Container Queues for Port Investment Decisions*, The sixth international symposium on operations research and its applications (ISORA,06), Xinjiang, Chin, pp. 155-167.

[19] Nazari, D., *Evaluating Container Yard Layout, A Simulation Approach*, Thesis of master of science, Erasmus University, Rotterdam, 2005.

Archive of SID

www.SID.ir