Archive of SID

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.

سازمان بنادر و دریانوردی

مرکز تحقیقات و اطلاعات علمی ایران

www.SID.ir

تحلیل و بررسی ظرفیت پایانه‌های کانتینری
با استفاده از تکنیک‌های شبیه‌سازی

Shell Ying Huang Wen-Jing Hsu
Chuanyu Chen, Rong Ye and Stuti Nautiyal

ترجمه: فهیمه گل بابایی، کارشناس ارشد برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

f.golbabaie@yahoo.com

چکیده

مدل سازی و شبیه‌سازی، ابزارهای اصلی برای طراحی و تحلیل و بررسی پایانه های کانتینری می‌باشند. یک مدل کامپیوتری می‌تواند فعالیت ها را در چند سطح جزیی به طور متشابه انجام دهد و فعل و انفعال‌های اصلی میان زیر سیستم‌ها را به دست آورد. تحلیل و بررسی بر اساس شبیه‌سازی، برای طراحی پایانه‌های جدید، انجام اصلاحات در پایانه‌های موجود و ارزیابی مزایای منابع جدید یا اثر سیاست‌های عملیاتی، مفید و موثر می‌باشد.

ما در این جا یک ابزار مقیاس پذیر را ارایه می‌دهیم که تمام فعالیت های یک پایانه را یکپارچه می سازد. این سیستم روش‌ها را با هم یکی می‌کند تا الگوهای واقعی ورود کشتی را استخراج کند و بتواند حرکت یا جا به جایی میلیون ها کانتینر را از نقطه ورود به نقطه خروج دنبال کند. این سیستم شبیه‌سازی برای برررسی دقیق سه پایانه کانتینری در این حوزه استفاده شد و مشاهده شد که در کپی کردن عملکردهای واقعی و هم چنین در ارزیابی کردن ظرفیت موثر بوده است.

واژگان کلیدی: مدل سازی، شبیه‌سازی، ظرفیت پایانه‌های کانتینری.

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

یک پایانه کانتینری، نقش مهمی را در تجارت جهانی و بین‌المللی ایفا می‌کند که به طو رمعمول بین حمل و نقل های زمینی و دریایی به کار می آید. یک پایانه کانتینری با چندین هدف عملیاتی کار می‌کند. عملکردهای پایانه کانتینری شامل یک مجموعه پیچیده از فرایندهای جا به جایی کانتینر می‌باشد. هر ارتباطی در چرخه جا به جایی کانتینرها اهمیتی حیاتی دارد و تاثیر این چرخه به چگونگی اتصال این زنجیره بستگی دارد یعنی، به چه روشی اجزای مختلف با یکدیگر همکاری دارند. سرانجام، چه مسایلی فراتر از رفتار هر یک از زیر سیستم‌ها، کارایی نهایی کل پایانه می‌باشند. به دلیل پیچیدگی و مقیاس عملیات، نمی‌توان یک مدل محاسباتی را برای بهینه‌سازی تحلیلی تمام عملیات پایانه درست کرد، اگر چه این مدل‌ها برای یک وضعیت از یک جزو پایانه وجود دارند. با وجود نمونه‌های شبیه‌سازی کامپیوتری، کپی کردن فعالیت های یک پایانه برای دست یابی به فعل و انفعال‌های بین هر یک از زیر سیستم‌ها، از ابزارهای ضروری می‌باشد. این قبیل مدل های شبیه‌سازی را می‌توان برای تحلیل ظرفیت پایانه‌های جدید، پایانه‌های موجود، ارزیابی منافع- اثرات منابع جدید و سیاست‌های عملیاتی استفاده کرد. این، ابزاری قدرتمند برای تصمیم گیرنده‌ها می‌باشد تا تصمیم هایی اتخاذ کنند که اغلب چند میلیون دلار هزینه در بر دارد.

به طور کلی، مدل سازی دقیق یک سیستم شبیه‌سازی باید بر اساس سطح مورد نیاز درستی باشد که بیش تر به یک هدف خاص و برنامه سودمند سیستم مربوط می‌شود. دو نوع شبیه‌سازی در این زمینه ارایه شده است، شبیه‌سازی استراتژیکی و شبیه‌سازی عملیاتی.

Archive of SID

www.SID.ir

شبیه‌سازی استراتژیکی، مطالعه و بررسی و مقایسه چندین طرح اجرایی، اجرای سیاست‌ها یا جا به جایی تجهیزات و شناسایی بهترین راه حل بر حسب بازده و تاثیر بخشی هزینه می‌باشد. این نوع شبیه‌سازی بیش تر در طراحی یک بندر جدید و یا برنامه ریزی طرح و توسعه یک بندر موجود استفاده می شود. در طرح ریزی استراتژیکی، یک سطح بالایی از شبیه سازی امکان‌پذیر است [۳-۱].

در مقابل، شبیه‌سازی عملیاتی به مسایلی می‌پردازد که در طرح‌ریزی و تخصیص منابع به عملیات واقعی، مطرح شده‌اند. این شبیه‌سازی با طرح و تجهیزات از پیش تعریف شده، روش های مختلف عملیاتی را اجرا و ارزیابی می‌نماید، از قبیل: تخصیص یارد، طراحی اسکله و پهلوگیر، یا طرح ریزی و تقسیم منبع کلی. شبیه‌سازی عملیاتی در پایانه‌هایی که روی بازده و توان عملیاتی بالاترین حد تقاضا را دارد، بسیار ارزشمند می‌باشد، جایی که می‌توان روش‌هایی دیگر بهینه‌سازی برای طرح‌ریزی را، قبل از اجرای کار آزمایش کرد [۷]. یک سیستم شبیه‌سازی عملیاتی را می‌توان توسعه داد تا در تصمیم های واقعی با سیستم مدیریت پایانه کانتینری یکپارچه شود. این سیستم می‌تواند نقاط فعال را از قبل آماده کند، جایی که تراکم ترافیکی مشخص می‌شود و راه حل‌های ممکن به طراح ارایه می‌شود تا روی آن ها کار کند. این نوع شبیه‌سازی برای طرح ریزی واقعی، به عنوان شبیه‌سازی تاکتیکی شناخته می‌شود [۸].

مدل‌های شبیه‌سازی بسیاری برای عملیات پایانه کانتینری ساخته شده‌اند. اکثر مدل‌های شبیه‌سازی جهت مطالعه و بررسی مسایل موجود در بهینه‌سازی طرح‌ریزی و مدیریت عملیات در قالب پایانه موجود تهیه و تولید می‌شوند (طرح پایانه ثابت و مجموعه ای از تجهیزات).

ما تنها به ذکر چند نمونه در اینجا می پردازیم. Merkuryev و همکارانش [۹] از

Archive of SID

www.SID.ir

شبیه‌سازی برای بهبود فرآیندهای لجستیکی در پایانه کانتینری بندر ریگا استفاده کردند. Gambardella ، Rizzoli و Zaffalon [۱۰] یک شبیه‌ساز تهیه کردند تا اعتبار و درستی و تاثیر روش محاسبه شده از طریق واحد بهینه‌سازی برای تخصیص منابع را بررسی کنند. Bruzzone وSignorile [۱۱] از الگوریتم‌های ژنتیک و شبیه‌سازی برای گرفتن تصمیمات استراتیژیک در مورد تخصیص منابع و سازماندهی پایانه، استفاده کردند.

برخی از مدل های شبیه‌سازی نیز، برای بررسی میزان تاثیر عوامل خارجی بر عملیات پایانه ساخته می‌شوند.برای مثال، Pope و همکارانش [۱۲] از شبیه‌سازی برای بررسی میزان تاثیر جریانات ترافیک جاده‌ای روی پایانه‌های کانتینری واقع شده در شهرها استفاده کردند . Thiers و Janssens [۱۳] از یک مدل شبیه‌سازی بندر برای بررسی مانع و سبب تاخیر اسکله رودخانه ای استفاده کردند.

Shabayek و Yeung [۱۴] پایانه‌های کانتینری کوای چانگ[16] را در هنگ کنگ شبیه‌سازی کردند و اهداف آن ها، بررسی این موضوع بود که یک مدل شبیه‌سازی تا چه حد می‌تواند عملیات‌های واقعی پایانه کانتینری را با یک ترتیب صحیح تری پیش گویی کند. Rensburg ، He وKleywegt [۱۵] ساخت یک مدل شبیه‌سازی را با این هدف که یک ابزاری را برای آموزش و تعلیم تصمیم گیرنده های پایانه تهیه کنند، گزارش دادند.

در تحلیل و بررسی ظرفیت پایانه‌های کانتینری با استفاده از شبیه‌سازی، کارهای بسیار کمی انجام گرفته است . Kia ، Shayan وGhotb [۳] تاثیر بارگیری مستقیم

---

[16] Kwai Chung

Archive of SID

www.SID.ir

از کشتی به خط آهن را روی ظرفیت پایانه کانتینری با استفاده از آمارهای واقعی، بررسی کردند. همچنین این مدل شبیه‌سازی ناحیه متراکم پایانه را شناسایی کرده و دو سیستم عملیاتی که منجر به صرفه جویی در امر توسعه بندر می شوند را با هم مقایسه کرده است. Hsu و Huang [۱۶] پروژه‌ای را گزارش دادند که از شبیه‌سازی برای ارزیابی روش‌های جدید عملیاتی استفاده کرده است . پروژه‌ای با طرح‌های کارآمد برای طراحی یک سیستم پایانه کانتینری با ظرفیت بالا برای کشتی های غول پیکر.

در این تحقیق، ابزار جدیدی را ارایه می‌دهیم که تمام فعالیت های یک پایانه را یکپارچه می‌سازد .این سیستم انعطاف پذیر و مقیاس‌پذیر است و به کاربران اجازه می‌دهد هر وسیله خاصی را وصل کنند، موقعیت‌های منبع را تغییر دهند، روش‌های کار را اصلاح کنند، اندازه محوطه ذخیره سازی کانتینرها را تغییر دهند و الگوهای ورود کشتی‌های کانتینری را تغییر دهند. این ابزار، به خصوص برای تحلیل ظرفیت بسیار مفید و موثر می‌باشد و کاربر می تواند است سطح توان عملیاتی را تغییر دهد یعنی، از حجم مورد تقاضای انتقال کانتینرها در پایانه تا ارزیابی ظرفیت انتقال واقعی پایانه. در بخش۲ این تحقیق، ساختار و کلیات سیستم شبیه‌سازی را ارایه می دهیم. بخش۳ به تشریح چگونگی تهیه آمار واقعی ورود کشتی ها برای انجام فرآیند شبیه‌سازی می پردازد.

بخش۴ در مورد صحت و درستی شبیه‌سازی و مقیاس پذیری مدل است. بخش ۵ درباره چگونگی انجام آزمایش های شبیه‌سازی برای تحلیل ظرفیت پایانه ها می باشد. در ادامه در بخش ۶ سه مطالعه موردی در خصوص تعیین ظرفیت پایانه ها با استفاده از شبیه‌سازی ارایه شده است. بخش آخر نیز به طور خلاصه، به نتیجه گیری از این تحقیق می‌پردازد.

Archive of SID

www.SID.ir

۲- ساختار و کلیات سیستم شبیه‌سازی

این سیستم متشکل از ۶ واحد می باشد، که اسامی آن ها برگرفته از کاربری آنان در عملیات واقعی می باشد. همان طور که در تصویر۱ نشان داده شده است، این واحدها عبارتند از:

- تخصیص پهلوگیر و جرثقیل اسکله، دقت در تخصیص فضای اسکله به کشتی های ورودی، پهلوگیری با توجه به قابلیت دسترسی به جرثقیل اسکله.
- مدیریت جرثقیل اسکله، هم آهنگ کردن عملیات جرثقیل اسکله.
- مدیریت نقل و انتقالات اولیه، اعزام تجهیزات حمل و نقل اولیه برای انتقال کانتینرها بین اسکله و محوطه یارد.
- تخصیص محوطه یارد، دقت در تخصیص فضای محوطه به کانتینرهای ورودی.
- مدیریت جرثقیل محوطه، هم آهنگی عملیات جرثقیل محوطه.
- عملیات دروازه (گیت)، تعیین ورودی ها و خروجی ها از شرکت های محلی برای کانتینرهای محلی.

هر یک از اجزا از نظر عملیات و اوضاع داخلی جدا و مستقل از سایرین می‌باشد ولی هنوز همگی از نظر تقسیم و تبادل اطلاعات، به هم وابسته می‌باشند.

واحد تخصیص پهلوگیر، پهلوگیرها را بر اساس فضای اشغالی حال حاضر اسکله و دسترس پذیری جرثقیل اسکله(QC) به کشتی‌های ورودی اختصاص می‌دهد. هدف از این تخصیص، رسیدن به بیش ترین کاربری از پهلوگیر، در عین بهره گیری از کیفیت قابل قبولی از خدمات می‌باشد، یعنی درجه رضایت‌مندی پهلوگیرــ برــ ورود

Archive of SID

www.SID.ir

(BOA)[۱۷]و حداکثر زمان انتظار از پیش تعریف شده برای کشتی. یک کشتی زمانی می‌تواند پهلوبگیرد که هر دو شرط زیر برای پهلوگیری وجود داشته باشد:

a) وجود طول پهلوگیری کافی مطابق با LOA[۱۸] (طول کشتی) و فضای اطمینان مورد نیاز.

b) تعداد QC های موجود در این پهلوگیر کم تر از تعداد مورد نیاز نباشد.

واحد مدیریت و کنترل جرثقیل اسکله تلاش می کند تا در عملیات جرثقیل اسکله با سایر پایانه‌های کانتینری موجود به رقابت بپردازد. مهم ترین جوانب درگیر با آن ها، نحوه قرارگیری و تخصیص جرثقیل ها، جدول زمان‌بندی، توزیع تراکم کار، عملیات واقعی واگن برقی برای جا به جایی کانتینرها و هم آهنگی با سیستم حمل و نقل می‌باشد.

حمل و نقل یکی از مهم ترین جنبه های در یک پایانه کانتینری می‌باشد .به دلیل محدودیت های زیاد ترتیب بارگیری و فعالیت‌های همزمان بسیاری در فضای محدود اسکله، رقابت واقعی رسیدن به بالاترین توان عملیاتی موردنیاز می باشد. عملیات حمل و نقل بیش تر به عملیات اسکله، عملیات محوطه و ساختار طرح‌ها مربوط می‌شود .هدف اصلی، جا به جایی موثر کانتینرها می‌باشد که معادل است با کاهش زمان برگشت کشتی‌ها.

انتقال‌دهنده‌های اولیه (PMs)[۱۹] عملیات جرثقیل های اسکله (QCها) را در اطراف اسکله پشتیبانی می‌کنند. دو روش برای قراردادن PMها وجود دارد:

(۱) بسته به کارآیی QC که باید ثابت حفظ شود، در مورد تعداد PMهایی که باید

---

[17] Berth-On-Arrival

[18] length overall

[19] Prime movers

Archive of SID

www.SID.ir

به یک QC اختصاص داده شوند، تصمیم می‌گیریم. PMها تا زمانی کـه عملیـات QC معین شده برای آن ها اتمام یابد، مختص آن می باشند.

(۲) PMها به یک QC اختصاص ندارنـد بنـابراین آن هـا بـه هـر عملیـات تخلیـه/ بارگیری که ضروری تر باشد و یا موقعیت عملیاتی که به آن ها نزدیک تر باشـد، اعـزام می شوند.

واحد تخصیص محوطه، فهرست کالاها را نگهداری می‌کنـد و فضـای محوطـه را بـه کانتینرهای ورودی اختصاص می‌دهد. به طور معمول یـک پایانـه بـه محوطـه صـادرات، محوطه واردات، محوطه کانتینرهـای یخچـالی، محوطـه کالاهـای خطرنـاک و محوطـه کانتینرهای خالی تقسیم می‌شود. هم چنین سعی می شود که کـانتینرهـای متعلـق بـه یک کشتی در چند دسـته نزدیـک بـه هـم ذخیـره شـوند. طـرح‌ریـزی محوطـه بـرای کانتینرهای صادراتی، در دو مرحله انجام می‌گیرد، طرح‌ریزی محوطه بزرگ و طرح‌ریزی محوطه کوچک. طرح‌ریزی محوطه بزرگ، تعداد دسته‌های مورد نیاز بـرای یـک کشـتی مشخص را تخمین می‌زند و به جستجوی بلوک هـای مناسـب محوطـه بـرای قـراردادن بسته ها می پردازد. طرح‌ریزی محوطـه کوچـک، یـک فضـای خاصـی از محوطـه را بـه کانتینر ورودی اختصاص می دهد.

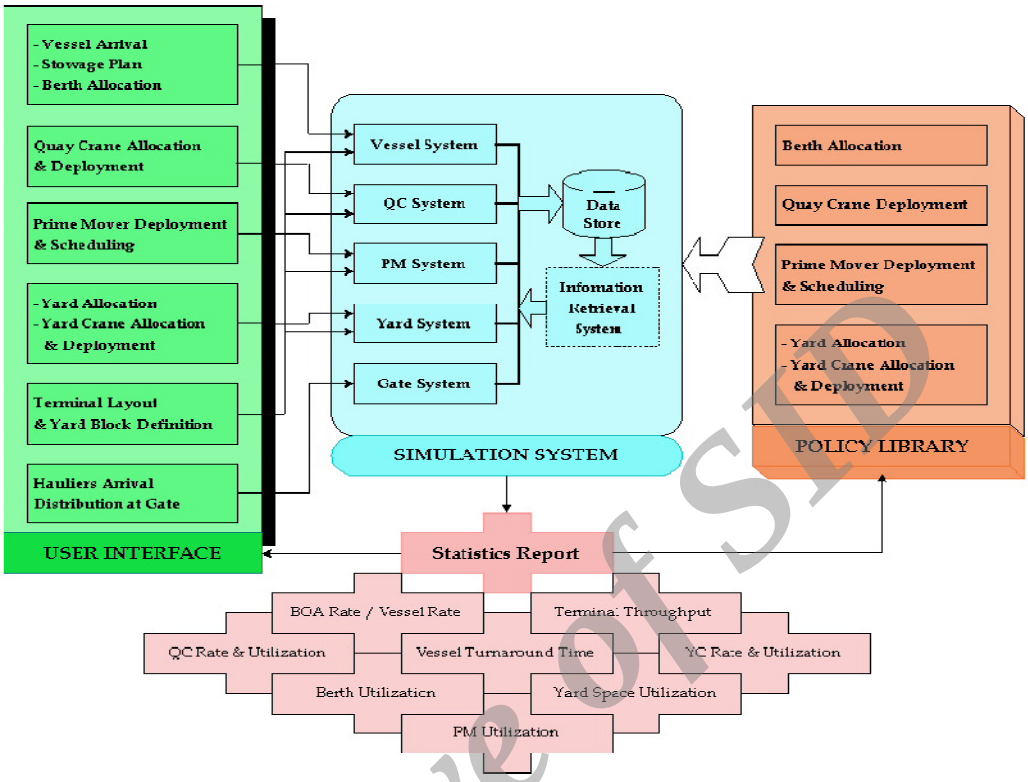
هدف از مدیریت و کنترل جرثقیل اسکله، با توجه بـه مطالـب قبـل، خـدمت‌رسـانی سریع تر به انتقال دهنده‌های اولیه، تا حد ممکن مـی‌باشـد .بـرای بهبـود بـازده کـاری، تقسیم کار بین جرثقیل های یک بلوک، بر اساس "الگوریتم هارمونیک"[۲۰] می‌باشـد، نـه بر اساس فاصله زیاد یا حجم کار. واحد عملیات‌گیت، ورود کامیون‌ها را برای کانتینرهـای وارداتی / صادراتی تولید می‌کند.

---

[20] *Harmonic Algorithm*

Archive of SID

www.SID.ir



تصویر۱- ساختار سیستم

۳- تولید ورود کشتی‌ها

در اینجا روش مدل‌سازی ورود کشتی‌های کانیتنری را که در مدل شبیه‌سازی ما بـه کار رفته است، ارایه می کنیم. طرح‌های تولید شده با بررسی داده‌هـای آمـاری برداشـته شده از یک پایانه کانیتنری واقعی به دست آمده و معتبر هستند.

تولید ترافیک کشتی‌های کانتینری شامل تخصیص مشخصه‌های فراخوان کشتی هـا

Archive of SID

www.SID.ir

به هر کشتی (مثال، ترکیب کشتی، TEUs/ فراخوانده، LOA، غیره) و برنامه ریزی برای ورود کشتی‌ها می‌باشد. تعیین مشخصه‌های فراخوان کشتی به خوبی می‌تواند توسط اپراتورهای بندر بر اساس تجربه اشان پیش گویی شود. سیستم شبیه‌سازی به کاربر این امکان را می‌دهد تا طبقه‌بندی کشتی‌ها و هم چنین ترکیب کشتی‌ها و TEUs/ فراخوانده را، برای مطالعات شبیه‌سازی آن ها مشخص کند. ما نتایج یک تحلیل دو هفته‌ای از داده‌های عملیاتی یک پایانه واقعی را برای ترکیب کانتینر و توزیع ترابری تخلیه (POP)[۲۱] مورد استفاده قرار دادیم. مساله پیش گویی برنامه زمانی ورود به قدری سخت و پیچیده است که منجر به طرح‌ریزی خطوط کشتیرانی می‌شود که نسبت به تغییرات اقتصادی بسیار حساس است.

معمول ترین نمونه قابل قبول برای مدل‌سازی ورود کشتی ها، فرایند پواسون است[۱۸-۱۷]. این بر اساس حقایق زیر می باشد: (۱) اگرچه ورودی‌های هر یک از کشتی‌ها برنامه‌ریزی می‌شود، زمانی که ترافیک کشتی‌ها در تمام بندر درنظر گرفته شده باشد، توزیع زمان‌های ورود ـ داخلی، تصادفی می‌شود و نمودار توزیع نمایی برای آن مناسب تر است؛ (۲) شرایط آب و هوایی غیرقابل پیش‌بینی و تاخیرهای ممکن در خدمات بندرهای دیگر، این ورودها را تصادفی تر می‌کند.

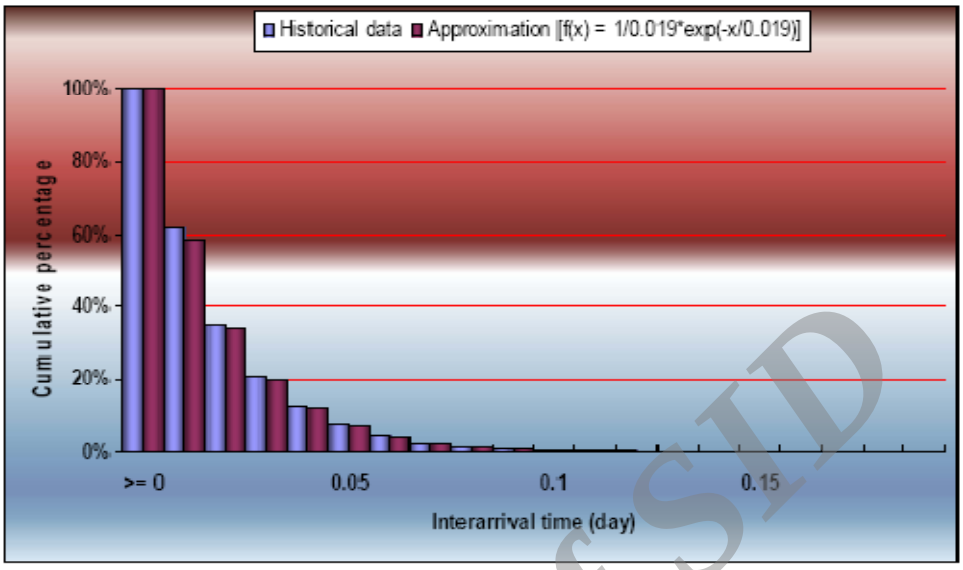
برای این که معین کنیم توزیع پواسون برای فرایند ورود به بندرهای کانتینری مناسب است، داده‌های ۱۱ ماه از یک پایانه واقعی جمع‌آوری شدند تا تحلیل و بررسی شوند. همان‌طور که می‌توان در شکل ۲ مشاهده کرد، داده‌های واقعی به طور معقولانه‌ای (کمتر از ۳٪ اختلاف) مطابق با تخمین نمایی می‌باشند. به عبارت دیگر، فرضیه ورودهای کشتی‌های پواسون تصدیق می‌شود.

---

[21] ports of discharge

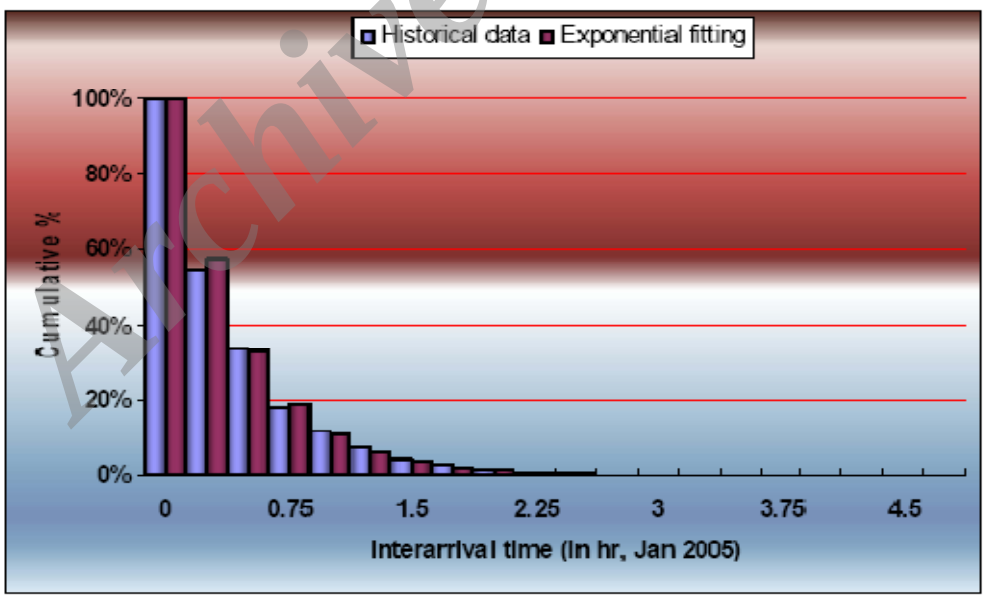
Archive of SID

www.SID.ir



تصویر۲- مقایسه داده‌های واقعی با تخمین تئوری

با توجه دقیق‌تر به جزییات داده‌های ماهیانه، زمان‌های ورود ـ داخلی کشتی‌ها در یک ماه نیز، به شکل توزیع نمایی می‌باشند (شکل ۳).

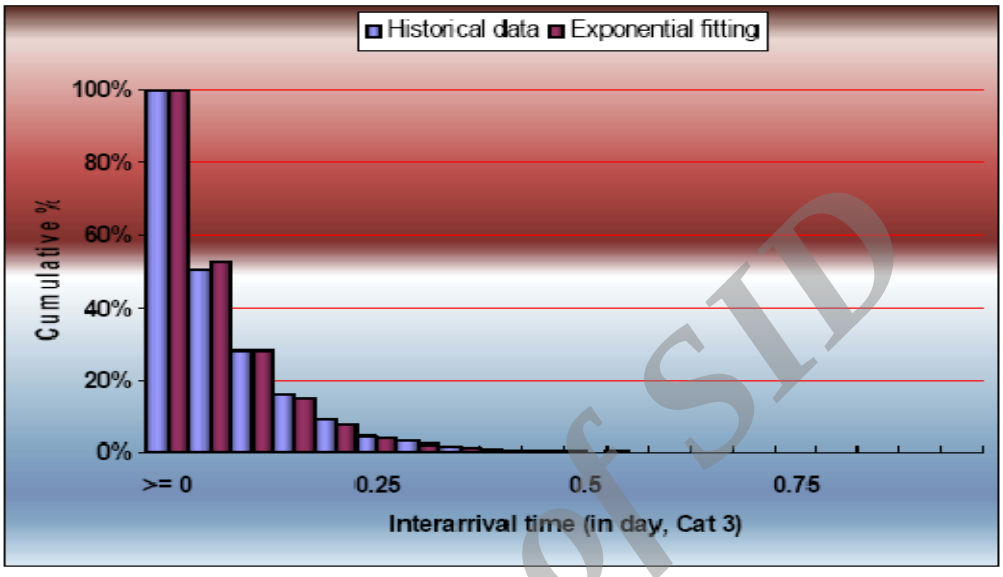


تصویر۳- مقایسه یک ماه داده‌های واقعی با تخمین تئوری

Archive of SID

www.SID.ir

از زاویه دیگر، زمانی که به زمان‌های ورود ـ داخلی هر مجموعه‌ای از کشتی‌ها توجه می‌کنیم، به نظر می‌رسد که توزیعات نمایی را دنبال می‌کنند.



تصویر۴- مقایسه داده‌های واقعی با تخمین تئوری یک مجموعه از کشتی ها

هم چنین متوجه شدیم که پایانه‌های کانتینری نیز همانند سایر صنایع خدماتی، دارای دوره های حداکثر تقاضا و حداقل تقاضا در طول یک سال می باشند. تعداد ورود کشتی ها، یک الگوی فصلی دارد، ماه فوریه پایین‌ترین فصل است (فوریه ماهی است که آغاز سال جدید چینی‌ها می‌باشد). تحلیل و بررسی داده‌های واقعی نشان می‌دهد که ورودهای کشتی ها را می‌توان با فرایند پواسون متغیر(NSPP)[۲۲] به خوبی مدل سازی کرد و برای هر ماه یک نرخ ورود متفاوت وارد کرد.

---

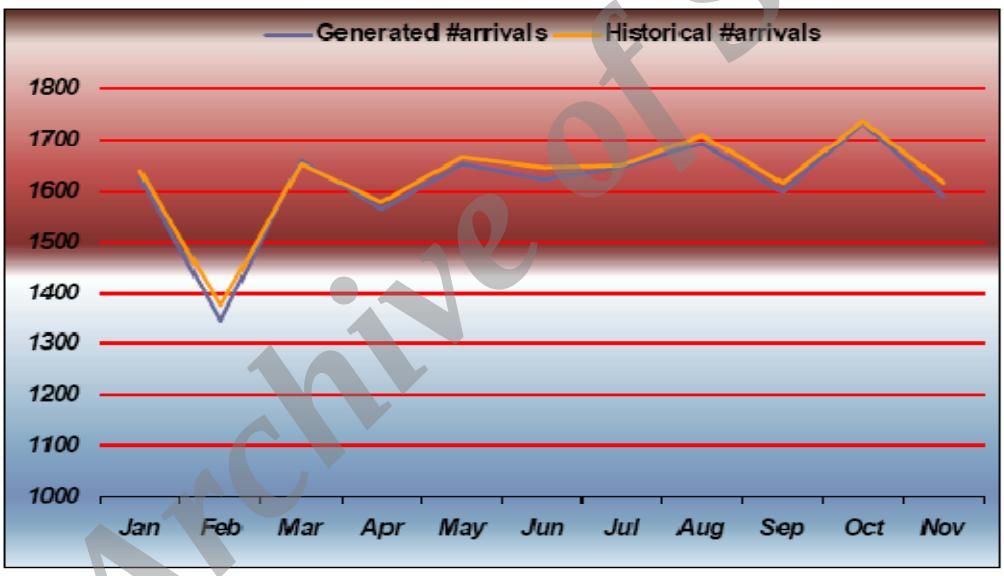
[22] Non-stationary Poisson process

Archive of SID
www.SID.ir

در این مدل، از یک فرایند پواسون متغیر برای مدلسازی الگوهای ورود کشتی با نرخ‌های ورود ثابت که ماهیانه تغییر می‌کنند و به صورت فصلی تهیه می شوند، استفاده می‌شود.

توجه داشته باشید که در مدل‌سازی فرایند پواسون متغیر، تغییر نرخ ورود در الگوریتم تولید، به سادگی ناهماهنگی‌هایی در ورودها ایجاد می‌کند و این در شرایطی است که مغایرت ها در نرخ‌ها زیاد باشند(Law و Kelton، ۲۰۰۰).

بنابراین از یک روش رقیق‌گردانی[۲۳] در الگوریتم استفاده شد تا انتقال‌ها از ترافیک سنگین به ترافیک سبک‌تر و بالعکس تغییر کنند(Law و Kelton، ۲۰۰۰).



تصویر۵- مقایسه ورودهای واقعی و تولید شده

---

[23] thinning

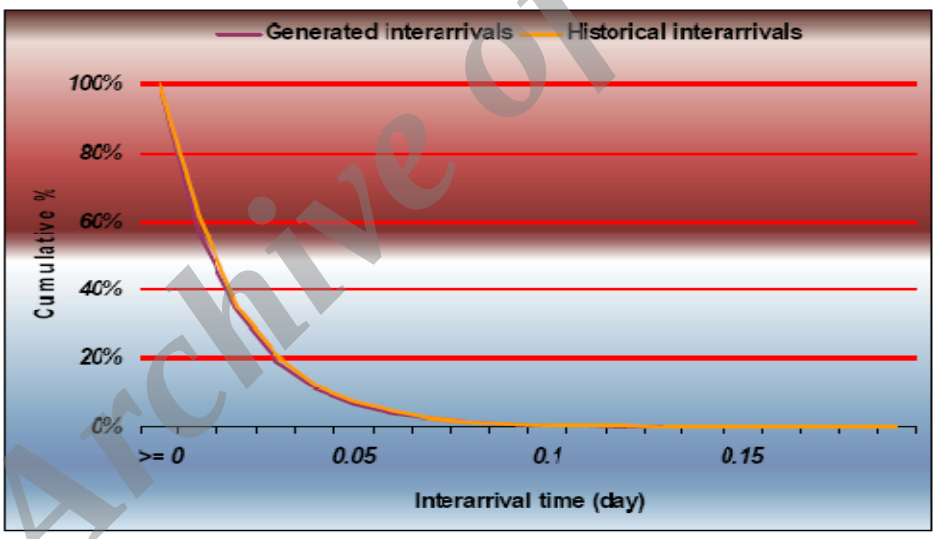
Archive of SID

www.SID.ir

فرض کنید که نرخ ورود ماه i، λ_i $(i = 1, 2, \ldots, 12)$ باشد، و حداکثر نرخ ورود $\lambda_{\max} = \max(\lambda_i)$ باشد. در این شبیه‌سازی، ورودهای کشتی ها با استفاده از یک زمان ورود ـ داخلی نمایی با یک میانگین $\frac{1}{\lambda_{\max}}$ تولید می‌شوند و سپس با احتمال پذیرش رقیق می‌شوند:

$$P_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_{\max}}$$

روش مدل‌سازی ترافیک کشتی برای تولید ورودهای کشتی ها و داده‌های آماری برای اثبات درستی، مورد استفاده قرار گرفتند. شکل‌های ۴ و ۵ نشان دهنده توزیع تعداد ورودی ها و تعداد زمان‌های ورود ـ داخلی در طی ۱۱ ماه که از ۵ مجموعه داده‌های تهیه شده، جمع‌آوری شده‌اند، می باشد. هر دو توزیع به طور معقولانه‌ای (با حداکثر خطای مدل سازی به ترتیب ۴/۵٪ و ۱/۷٪) مطابق با داده‌های آماری می‌باشند.



تصویر۶- مقایسه ورود- داخلی واقعی و تولید شده

Archive of SID

www.SID.ir

۴- دقت شبیه‌سازی و مقیاس‌پذیری مدل

زمانی که مدل‌هایی با مقیاس بزرگ را شبیه‌سازی می‌کنید، اندازه طرح پایانه و تعداد وسایل نقلیه در داخل سیستم، به طور قابل توجهی زیاد می‌باشد. یک مدل از ۱۰ پهلوگیر ممکن است درازایی حدود ۳/۳ km و عمقی ۰/۵km داشته باشد که با شبکه مسیر وسایل نقلیه ای که در اطراف اسکله و محوطه حرکت و کار می کنند متقاطع باشد. در شلوغ ترین دوره‌ها، ممکن است صدها وسیله نقلیه (انتقال‌دهنده‌های اولیه و وسایل نقلیه محلی) به طور هم زمان در پایانه وجود داشته باشند.

شبیه‌سازی تعداد زیادی از وسایل نقلیه که در سیستم اجرا می‌شوند یک محاسبه کلی و بزرگی است که منجر به زمان اجرایی حدود ۴۸ ساعت می‌شود تا یک دوره یک ساله شبیه‌سازی شود.

(برای ۱۰ پهلوگیر با 1M TEUs در هر ترافیک پهلوگیر).

جدول۱- درستی مدل خلاصه

KPI	% variance
BOA Rate	1.81%
QC Rate	0.39%
Berth Utilization	1.39%
QC Utilization	1.00%
PM Unloading cycle time	0.32%
PM Loading cycle time	0.87%
PM Unloading waiting at yard	1.68%
PM Loading waiting at yard	3.65%

Archive of SID

www.SID.ir

بنابراین بهتر است سرعت اجرای این مدل را با خلاصه سازی بـا حـداقل اخـتلال در صحت مدل سازی، اصلاح کنیم. برای دست یابی به این مورد، وسایل نقلیه از این مـدل خارج شده و اثر آن ها شبیه‌سازی شده است. زمان حرکت وسایل نقلیه بین دو ناحیه از پایانه، با استفاده از فاصله مسیر بین دو نقطه و مشخصه‌های سرعت واقعی وسیله نقلیـه، شتاب و کاهش سرعت منفی محاسبه می‌شود. تاثیر صف‌بندی وسـایل نقلیـه در فضـای محوطه و اسکله، شبیه‌سازی می‌شود، و وسایل نقلیه به ترتیب ورودشان بـه کـار گرفتـه می‌شوند.

آزمایش ها در جایی انجام گرفتند که در غیر این صورت مدل‌های متشـابه تحـت دو سناریوی متفاوت اجرا می شدند. در یکی، وسایل نقلیه بود و در دیگـری، تـاثیر وسـایل نقلیه شبیه‌سازی شده بود.

جدول۱ اختلاف میان آمارهای اصلی ثبت شده بـرای هـر دو مـورد از تحقیـق را، در سطح توان عملیاتی 0.75 سال/ پهلوگیر/MTEU فهرسـت مـی‌کنـد. همـان‌طـور کـه می‌توان از جدول مشاهده کرد، نتایج حاصل از خلاصه سازی بـا نتـایج بدسـت آمـده بـا وسایل نقلیه بسیار متشابه بوده است. مزید بر آن، این شبیه‌سازی ۵ برابر سـریع‌تـر بـود. با استفاده از این مـدل، توانسـتیم پایانـه‌هـایی بـا ۱۰ پهلـوگیر، ۲۰ پهلـوگیر و غیـره را شبیه‌سازی کنیم.

نکته مهم دیگر در مطالعات شبیه‌سازی این است که تعداد مشخصی از شبیه‌سازی‌ها اجرا می‌شوند و بیش از یک اجرا لازم است تا مشخصه‌های صـحیح مـدل را تخمـین زد. تعداد اجراهای مورد نیاز به شدت به سطح درستی و دقت موردنظر مربوط می‌شـود. در عمل، تعداد محدودی اجرا صورت می گیرد تا میانگین مقـدار یـک شـاخص عملیـاتی و واریانس متناظر تخمین زده شوند. بر اساس نتایج اولیه، از فرمول آمار می‌تـوان اسـتفاده

Archive of SID

www.SID.ir

به عمل آورد تا تعداد تکرارهای موردنیاز را پیدا کرد.

با درنظر گرفتن بهره وری اسکله به عنوان یک شاخص، و برای تخمین بهره وری پیش‌بینی شده با یک خطای نسبی ۰/۰۱ با درجه اطمینان ۹۵ درصدی؛ ۵ تکرار (با احتمال مختلف) برای توان عملیاتی 0.75MTE/ پهلوگیر/ سال، به عنوان تست اولیه، انجام گرفت. میانگین و واریانس این بهره وری حاصل از ۵ اجرا به شرح زیر می‌باشد:

میانگین = 43.14% , Var = 3,98 E-7

بر اساس تخمین توزیع – t، به تعداد تکرارهای زیر نیاز داریم تا سطح قابل قبولی از دقت و درستی را به دست آوریم:

$$N(0.01)=\min\left\{i\geq 5 : t_{i-1/0.975} * \frac{\sqrt{\frac{Var}{i}}}{mean} \leq \frac{0.01}{1+0.01}\right\}=5$$

از آن جایی که درصد BOA یک آمار مهمی است و در سنجش ظرفیت پایانه کاربرد دارد، آن را به عنوان شاخصی دیگر در نظر می‌گیریم:

میانگین = 93.09% , Var = 1,22 E-6

و بین ترتیب تعداد تکرارها به صورت زیر به دست می آید:

$$N(0.01)=\min\left\{i\geq 5 : t_{i-1/0.975} * \frac{\sqrt{\frac{Var}{i}}}{mean} \leq \frac{0.01}{1+0.01}\right\}=8$$

بنابراین، ۸ تکرار لازم می‌باشد تا یک خطای نسبی کم تر از 0.01 با درجه اطمینان ۹۵ درصدی برای هر دو درصد بهره‌وری اسکله و درصد BOA، به دست آید. این را می‌توان در تمام آزمایش ها استفاده کرد.

Archive of SID

www.SID.ir

۵- تحلیل ظرفیت

اعتبار و دقت این مدل با تولید شاخص‌های اصلی اجرایی (KPIs) از این مدل در یک سطح عملیاتی مشخص تایید شده است و با آمارهای واقعی پایانه‌های واقعی مقایسه شده است.

این ظرفیت به عنوان سطح توان عملیاتی تعریف می‌شود که فراتر از این سطح، پایانه نمی‌تواند عملیات را به یکی از دو دلیل زیر نگه دارد:

- سرازیر شدن کانتینرها به محوطه بیش تر از سطوح قابل قبول و معین شده می‌باشد یا درصد BOA به پایین‌تر از درصد اصلی، افت پیدا کند.

برای تعیین ظرفیت یک پایانه، آزمایش های شبیه‌سازی، در حد پایین‌تر و بالاتر ظرفیت انجام گرفته و تحقیقات دوتایی نیز انجام می‌شود. توان عملیاتی پایانه با اندازه مشابه ارایه شده، حد پایین‌تر و ظرفیت یک زیرسیستم این پایانه، حد بالاتر می باشد. برای مثال، ظرفیت توقف گاه اسکله، حد بالاتر می باشد. شبیه‌سازی مورد اجرا برای تخمین ظرفیت اسکله، طوری طراحی می‌شود که در این آزمایش ها، نقل و انتقال روان از محوطه به جرثقیل های اسکله، همیشه تضمین شده باشد. این به آن معنی است که، هر زمان که جرثقیل اسکله آماده گذاشتن کانتینر روی انتقال دهنده های اولیه یا برداشتن کانتینر از روی آن ها باشد ، انتقال دهنده های اولیه نیز همیشه باید در زیر این جرثقیل ها آماده باشند، در نتیجه جرثقیل های اسکله با زمان انتظار صفر برای انتقال دهنده های اولیه روبرو می شوند. این به ما حداکثر توان عملیاتی را که اسکله قادر به کنترل آن می باشد، می دهد؛ هم چنین، حداکثر توان عملیاتی که پایانه می‌تواند کنترل کند را نیز به ما می دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

از تکنیک تحقیق دوتایی برای هدایت مراحل و مسیر تحقیق استفاده شده: این شبیه‌سازی با یک سطح توان عملیاتی در نقطه میانی دو حد شروع می شود، به این صورت که (L+U)/2. عملیات تقسیم و تصرف زمانی متوقف می‌شود که فاصله زمانی تقسیم شده بیش تر از 0.01 M نباشد. شاخص‌های ظرفیت و کارایی برای هر بار اجرای شبیه‌سازی جمع‌آوری می‌شوند.

۶- مثال‌هایی از کاربرد های این مدل شبیه‌سازی

در این جا سه نمونه کاربردی را ارایه می‌دهیم که در آن، از مدل شبیه‌سازی در مطالعه ظرفیت پایانه استفاده شده است.

۶-۱- مورد ۱: یک پایانه محلی

از سیستم شبیه‌سازی برای مدل سازی یک طرح خاصی از پایانه به طور محلی در سنگاپور استفاده شده، که شامل تمام وضعیت‌های اصلی عملیات کانتینری بوده است. طرح پایانه، خطوط ترافیکی، وضعیت محوطه، وضعیت زمین اطراف اسکله در مدل شبیه‌سازی تکرار شدند.

هم چنین، تخصیص منابع و روش‌های برنامه‌ریزی عملیاتی در سیستم شبیه‌سازی یکی شده‌اند که تقریب‌هایی از فعالیت‌های روزانه بوده‌اند. این اهداف، به منظور انجام تخمین ظرفیت پایانه و تخمین منابع لازم بودند. با مطالعه و بررسی این شبیه‌سازی پاسخ این پرسش ها پیدا شد (۱) حداکثر توان عملیاتی منابع پایانه حاضر چقدر می‌تواند باشد؟ (۲) اگر سعی کنیم با این منابع موجود، یک توان عملیاتی خاصی را به دست آوریم، تاثیر آن بر زمان انتظار کشتی و شاخص‌های اجرایی دیگر، چه خواهد بود؟ (۳) منابع لازم برای دست یابی به یک سطح خاصی از توان عملیاتی پایانه، چه

Archive of SID

www.SID.ir

می‌باشد؟

این مدل تست و سپس توسط نمایندگان پایانه کانتینری تایید شد. شبیه‌سازی‌ها با این مدل با پارامترهای ورودی متغیر و مختلفی، اجرا شدند و آمارها جمع‌آوری شدند تا ظرفیت این پایانه ارزیابی شود. پارامترهای ورودی متغیر و مختلفی را که یک کاربر می‌تواند تغییر دهد شامل موارد زیر می‌باشند:

۱) نوع تجهیزات: انواع مختلفی از جرثقیل های اسکله.

۲) تعداد تجهیزات: تعداد جرثقیل های اسکله، جرثقیل های محوطه، انتقال دهنده های اولیه.

۳) ترتیب قرارگیری تجهیزات: بهره وری بر پارامترهای زمان تاثیر می‌گذارد مانند سرعت جرثقیل، زمان تعیین شده برای جرثقیل، سرعت جرثقیل دروازه ای، سرعت جا به جایی انتقال دهنده اولیه.

۴) تعداد زمین های علامت گذاری شده در محوطه: تعداد و موقعیت زمین های علامت گذاری شده در محوطه که می‌توان برای ذخیره‌سازی کانتینرها استفاده کرد.

۵) حداکثر ارتفاع پشته چینی در محوطه: کانتینرها تا چه ارتفاعی می‌توانند در محوطه پشته چینی شوند.

۶) ترافیک‌های کشتی‌های در حال ورود: بر اساس شرایط کشتی‌های از پیش تعیین شده توسط کاربر و توان عملیاتی، مجموعه‌های متناظری از ترافیک کشتی برای اجرای شبیه‌سازی تهیه و تولید می‌شوند. ترافیک مربوطه برای انجام هر یک از شبیه‌سازی‌ها، توسط کاربر می تواند انتخاب شود.

ورودی‌های سیستم را می‌توان تغییر داد تا سناریوهای مختلفی برای تخمین ظرفیت تولید شوند.

Archive of SID

www.SID.ir

۶-۲- مورد II: یک پایانه منطقه‌ای

هدف از این تحقیق، مطالعه و بررسی ظرفیت یک پایانه کانتینری در منطقه‌ای که خود در حال حاضر دارای ترتیب قرارگیری منابع و روش‌های عملیاتی می باشد. این تحقیق، هم چنین بازده عملیات حاضر را بررسی کرده و مشکلاتی که ظرفیت پایانه را محدود کردند را شناسایی کرد، تا ببینیم که چگونه می‌توان عملیات را بهتر کرد تا بدون سرمایه‌گذاری اضافی، توان عملیاتی بالاتری را در پایانه به دست آورد. هم چنین، این تحقیق، راهنمایی‌هایی را برای ایجاد زمینه‌های دیگر بر حسب ظرفیت مورد نیاز برای هر کانتینر خالی و ظرفیت لازم برای کانتینرهای سنگین بار، فراهم کرد. نوع دیگری از این مدل، عملیات اسکله را ارزیابی کرد و نشان داد که آیا ساختار یک اسکله جدید لازم می‌باشد یا نه. سرانجام این تحقیق به بحث درباب چند نظریه و پیشنهاد برای بهبود ظرفیت پایانه، می پردازد.

باید خاطرنشان کرد که به منظور اعتبارسنجی، این مدل با داده‌های ورودی واقعی یک سال معین از این پایانه، اجرا شد. هرچند که، آمارهای موجود از عملیات واقعی پایانه در بازه زمانی دیگری جمع‌آوری شده بودند، پس داده‌های ورودی، به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر کردند. به دلیل این اختلاف، برای مقایسه، مجموعه‌ای از آمارهای معیار را تولید کردیم که نتیجه تغییر نسبی آمارهای واقعی بر طبق تغییرات در داده‌های ورودی بوده است.

۶-۳- مورد III: یک پایانه اصلی در دست طرح

هدف اصلی این پروژه، تخمین ظرفیت یک پایگاه ترمینال یا پایانه خاص در چند برنامه مختلف بوده است، یعنی ۲۰ اسکله، ۱۰ اسکله، ۶ اسکله و ۴ اسکله. با استفاده از برنامه عملیاتی ۱۰ اسکله، از مدل شبیه‌سازی برای تعیین عمق محوطه متشابه استفاده

Archive of SID

www.SID.ir

شد تا یک ظرفیت خاصی از پایانه تایید شود.

برای مطالعه و بررسی ظرفیت یک پایانه جدید، بهتر است با پیش گویی‌های واقعی عامل‌های اصلی شروع کنیم مانند حجم‌های ترافیکی پیش‌بینی شده، طرح‌های ورود و یکی کردن کشتی‌ها و کانتینرها. آنگاه طراحی باید نوع تجهیزات و روش‌های عملیاتی را تعیین کند که در این پایانه استفاده خواهد شد تا ترافیک موردنظر حفظ شود. زمانی که مراحل اولیه انجام گرفت، طراح می‌تواند ظرفیت پایانه موردنظر را تعیین کند.

یک مدل شبیه‌سازی جامع برای وضعیت ورود کشتی‌ها تهیه و تولید شد. هم چنین این مدل مخصوص کنترل کانتینرهای اطراف اسکله، انتقال دهنده اولیه، ذخیره‌سازی محوطه و عملیات‌های بازیابی و عملیات‌های دقیق شبیه‌سازی بوده است. تجهیرات و تسهیلات به کار رفته در این پایانه، و روش‌های عملیاتی به کار گرفته شده امروزه به هم شبیه می‌باشند. ترکیب ترافیک و پیش بینی‌های کشتی ها و ورود آن ها، همان‌طور که از MPA به دست آمد، در این مدل استفاده شدند. برنامه‌های ورود کشتی، برای بندرهای آینده نامعلوم هستند که با استفاده از ورودی‌های کنترل شده پواسون تقریب زده شدند که در بخش ۳ توصیف شده است.

نتایج شبیه‌سازی نشان دادند که این ظرفیت‌ها بر حسب توان عملیاتی هر اسکله، با تعداد اسکله‌ها در هر ترمینال افزایش می‌یابند و تاثیر مثبت اقتصادهای مقیاس را نشان می‌دهند.

ظرفیت این پایانه‌ها، در تمامی موارد، با BOA محدود شده است که محدودتر از فضای محوطه بوده است. سطح خدماتی ترمینال، بر حسب درصد QC (جرثقیل اسکله)، زمان‌های برگشت کشتی و غیره، بسیار معقولانه بودند و حتی بیش تر از سطح ظرفیت بودند. با تغییر مطلوب ورودی‌های کشتی، یک افزایش زیاد در BOA مشاهده

Archive of SID

www.SID.ir

شد که نشان‌دهنده یک ظرفیت بالاتر می‌باشد. این نشان می‌دهد که در آینده، با برنامه‌های نامعلوم ورود کشتی‌ها، BOA نباید به عنوان یک معیار سخت برای تعیین ظرفیت استفاده شود بلکه باید در ارتباط با شاخص‌های دیگر اطراف بارانداز استفاده شود مانند سرعت حرکت کشتی‌ها، درصدهای QC و بهره‌برداری از اسکله یا بارانداز.

۷- نتیجه‌گیری

یک مدل شبیه‌سازی تهیه کردیم که می‌توان از آن برای شبیه‌سازی عملیات پیچیده پایانه کانتینری استفاده کرد و به کمک آن پایانه را طرح‌ریزی کرد و ظرفیت و عملیات پایانه را نیز طرح‌ریزی کرد. این مدل می‌تواند بسیاری از عملیات پایانه را پایین‌تر از سطح باکس شبیه‌سازی کند و پیمانه‌ای و انعطاف‌پذیر باشد. سیستم شبیه‌سازی در پایانه‌های کانتینری در سنگاپور و در این ناحیه مورد استفاده قرار گرفت. این سیستم در تکرار و کپی کردن عملیات واقعی و هم چنین ارزیابی و سنجش ظرفیت‌های جا به جایی موثر بوده است.

منابع

[1] B.C. Carpenter, T. Ward. The use of computer simulation for marine terminal planning. Proceedings of the 1990 Winter Simulation Conference. 802-804.

[2] W.Y. Yun, Y.S. Choi. A simulation model for container-terminal operation analysis using an objectoriented approach. International Journal of Production Economics 59: 221-230.

[3] M. Kia, E. Shayan, F. Ghotb. Investigation of port capacity under a new approach by computer simulation. Computer & Industrial Engineering 42: 533-540.

[4] M. Bielli, A. Boulmakoul, M. Rida. Object oriented model for container

Archive of SID

www.SID.ir

terminal distributed simulation. European Journal of Operational Research 175: 1731- 1751

[5] P. Legato, R.M. Mazza (2001) Berth planning and resources optimization at a container terminal via discrete event simulation. European Journal of Operational Research 133: 537-547.

[6] L.M. Gambardella, M. Mastrolilli, A.E. Rizzoli, M. Zaffalon (2001) An optimization methodology for intermodal terminal management. Journal of Intelligent Manufacturing 12: 521-534.

[7] H.P.M. Veeke, J.A. Ottjes (2002) A generic simulation model for systems of container terminals. Proceedings of the 16th European Simulation Multiconference

[8] D. Steenken, S. Voß, R. Stahlbock (2004) Container terminal operation and operations research – a classification and literature review. OR Spectrum 26: 3-49

[9] Y. Merkuryev, J. Tolujew, E. Blumel, L. Novitsky, E. Ginters, E. Viktorova, G. Merkuryeva, and J. Pronins. A modelling and simulation methodology for managing the Riga Harbour container terminal. Simulation. 71(2): 84-95.

[10] L. M. Gambardella, A. E. Rizzoli, and M. Zaffalon. Simulation and planning of an intermodal container terminal. Simulation 71(2): 107-116.

[11] A. Bruzzone and R. Signorile. Simulation and genetic algorithms for ship planning and shipyard layout. Simulation 71(2): 74-83.

[12] J. A. Pope, T. R. Rakes, L. P. Rees, and I. W. M. Crouch. A network simulation of high-congestion road traffic flows in cities with marine container terminals. Journal of the Operational Research Society 46(9): 1090- 1101.

[13] G. F. Thiers, and G. K. Janssens. 1998. A port simulation model as a permanent decision instrument. Simulation 71(2): 117-125.

[14] A. A. Shabayek and W. W. Yeung. A simulation model for the Kwai Chung container terminals in Hong Kong. European Journal of Operational Research 140: 1- 11.

[15] J. J. Rensburg, Y. He and A. J. Kleywegt. A computer simulation model of container movement by sea. Proceedings of the 2005 Winter Simulation

Archive of SID

www.SID.ir

Conference. 1559-1566.
[16] W. J. Hsu and S. Y. Huang. Anatomy of HCTS: A high-capacity container terminal system for mega vessels. Ridge Books. 2006.
[17] E. Kozan. "Comparison of analytical and simulation planning models for seaport container terminals." Transportation Planning and Technology ., 20: 235–248.
[18] D. Pachakis and A. S. Kiremidjian. Ship Traffic Modeling Methodology for Ports. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering. 129: 193-202.

Archive of SID

www.SID.ir