اقیانوس‌شناسی/ سال پنجم/ شماره ۲۰/ زمستان ۱۲۰/۱۴/۱۳۹۳-۱۰۷

ارزیابی اقتصادی سامانه‌های عملیاتی محوطه‌ای پایانه‌های کانتینری

منصور کیانی‌مقدم

استادیار، دانشکده مدیریت و علوم انسانی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، چابهار، پست الکترونیکی: m.kiani@cmu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۱۴ ** نویسنده مسوول* *تاریخ پذیرش: ۹۳/۱/۲۱*

© نشریه علمی ـ پژوهشی اقیانوس‌شناسی ۱۳۹۳، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس‌شناسی است.

چکیده

چگونگی ارزیابی و تحلیل کارآیی اقتصادی و اثربخشی تجهیزات پایانه‌های کانتینری از جمله مسایلی است که مدیران پایانه‌های کانتینری با آن مواجه هستند. در این مقاله محققان با نگاهی متفاوت به توابع هزینه‌ای جهت تعیین هزینه‌های وسایل نقلیه درون پایانه‌های کانتینری شامل حمل کننده استرادل (SC)[1]، جرثقیل‌های نیمه اتوماتیک (RTG)[2] و جرثقیل‌های تمام اتوماتیک (RMG)[3] پرداخته و با ابداع روش مقایسه جفتی، رویکردی نوین را در ارزیابی و تحلیل کارآیی اقتصادی و اثربخشی تجهیزات پایانه‌های کانتینری ارائه نموده‌اند، به نحوی که تحلیل این تابع، اصلی‌ترین عوامل هزینه‌های عملیات درون پایانه‌های کانتینری مدرن از قبیل ۱) هزینه خرید زمین، هزینه نگهداری و توسعه‌ی محوطه کانتینری، ۲) هزینه خریداری تجهیزات، نگهداری و راه‌اندازی یک سامانه عملیاتی مناسب در محوطه کانتینری ۳) هزینه جابجایی کانتینرها؛ که نقش تعیین‌کننده‌ای را در تعیین هزینه نهایی سامانه‌های عملیاتی ایفا می‌کنند را مورد توجه قرار می‌دهد. از جمله قابلیت‌های این مدل می‌توان به انتخاب صحیح و علمی مناسب‌ترین سامانه پایانه‌های عملیاتی کانتینری که اصولاً مبتنی بر عملکرد و قابلیت‌های فن‌آورانه مورد نیاز است، اشاره نمود. نتایج نشان داد که سامانه‌های RMG اتوماتیک در مقایسه با سامانه‌های SC و RTG هزینه‌ی پایین‌تری برای هر کانتینر، هزینه کمتری را برای خرید جرثقیل و نگهداری و در مجموع هزینه کلی پایین‌تری را برای محوطه کانتینری به دنبال دارد.

کلمات کلیدی: *پایانه‌های کانتینری، مدلسازی تابع هزینه، تحلیل حساسیت.*

[1] Straddle Carrier
[2] Rubber Tyred Gantry
[3] Rail Mounted Gantry

۱. مقدمه

به‌کارگیری فن‌آوری‌های پیشرفته نظیر تجهیزات اتوماتیک و نیمه اتوماتیک در پایانه‌های کانتینری، کاهش زمان انتقال، پشته سازی و بازیابی کانتینرها در محوطه‌های بزرگ را به دنبال داشته است. به‌کارگیری تجهیزات اتوماتیک، کارآیی و اثربخشی را در لنگرگاه‌ها، اسکله‌ها، محوطه‌های بزرگ، عملیات ورود و خروج و جابجایی کالاها را در بنادر افزایش داده است. این امر به نوبه‌ی خود مدت زمان تخلیه و بارگیری، توقف، سیکل زمانی و ماندگاری کانتینر و حرکات تجهیزات انتقال دهنده را کاهش داده و مدت زمان حضور کشتی‌های کانتینری در بنادر را به حداقل رسانده است. در دو دهه‌ی اخیر تجدید نظر در ساخت بسیاری از سامانه‌های پیشرفته درون پایانه‌ها نظیر حمل کننده استرادل نیمه اتوماتیک (SC) طوری بوده است که آنها امروزه توانایی جابجایی و پشته سازی کانتینرها تا ارتفاع ۱ تا ۳ کانتینر و بیشتر را دارا هستند. AGV ها و شاتل‌ها که بدون دخالت انسان و به صورت اتوماتیک اقدام به جابجایی کانتینرها می‌نمایند به‌طور موفقیت آمیزی در عملیات پایانه‌های کانتینری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در محوطه‌های پشته‌سازی پایانه‌های کانتینری مدرن، جرثقیل‌های نیمه اتوماتیک RTG و RMGهای تمام اتوماتیک به‌خوبی مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

این تحلیل ضمن مشخص نمودن عوامل و عوامل مؤثر هزینه‌ای مرتبط با سامانه‌های عملیاتی مذکور، یک روش کارآمد و مؤثری را نیز جهت اندازه‌گیری اثربخشی هزینه‌ی این سامانه‌ها ارائه می‌دهد. عوامل تعیین‌کننده در به‌کارگیری و سرمایه‌گذاری در هر یک از سامانه‌های عملیاتی پایانه‌های کانتینری عبارتند از: دسترسی کامل به زمین و سطح مورد نیاز، هزینه اولیه سرمایه‌گذاری در هر سامانه، ظرفیت سامانه جابجایی و پشته‌سازی کانتینرها و هزینه‌های عملیاتی مربوط به آنان. هزینه‌های جابجایی، ظرفیت پشته‌سازی و هزینه‌های عملیاتی به صورت مستقیم با در دسترسی آسان به زمین و نوع تجهیزات مورد استفاده در ارتباط است. در برخی از پایانه‌های کانتینری به ویژه در بنادر آسیایی، به علت در دسترس نبودن فضای کافی و وجود موانع و مشکلات در توسعه بنادر و هزینه‌های بالای مربوطه، جهت افزایش ظرفیت پایانه‌های کانتینری سعی می‌شود که کانتینرهای بیشتری بر روی هم چیده شود (Watanabe, 2001). جرثقیل‌های RTG و RMG به‌دلیل قابلیت خوب در پشته‌سازی عمودی، از مناسب ترین تجهیزات پایانه‌های کانتینری جدید و امروزی به‌شمار می‌آیند. در برخی دیگر از پایانه‌ها که فضا به اندازه‌ی کافی برای توسعه محوطه‌های پشته‌سازی وجود دارد، سامانه‌های SC بهترین گزینه هستند (Agerschou, 2004; Chen, 1998). پایانه‌های کانتینری ساوت همپتون[1] و پایانه‌های مرکب اروپا (ECT)[2] در رتردام[3] مثال‌های مناسبی از این قبیل هستند که با وجود کسب عملکرد سالیانه‌ی بهتر با به‌کارگیری سایر سامانه‌ها، استفاده از قابلیت‌های انعطاف پذیری سامانه‌های SC را ترجیح می‌دهند. برخی از بنادر هاب[4] و بنادر مادر نظیر بندر آزاد هاچینسون[5] در هنگ کونگ با برخوداری از فضای کافی در پایانه‌های کانتینری و نسبت جابه‌جایی بسیار زیاد کالاها به‌صورت موفقیت آمیزی از سامانه‌های جابجایی و پشته‌سازی SC استفاده می‌نماید (Avery, 1999).

سامانه SC به‌علت هزینه‌های پایین در خرید تجهیزات، هزینه‌های کمتر عملیاتی و نیاز به محوطه‌های مجزا در دسته‌بندی‌های کوچکتر، در بسیاری از پایانه‌های کانتینری بر سایر سامانه‌ها ترجیح داده می‌شود. با همه قابلیت‌های خوب، سامانه‌های عملیاتی SC معایب و اشکالاتی نیز دارد. برخی از معایب سامانه‌های SC عبارتند از: بهره‌وری کم از فضا (بر حسب TEU بر متر مربع)، توانایی پشته‌سازی اندک، نیاز به فضای بیشتر جهت عملیات جابه‌جایی و دریافت، نیاز به نگهداری و مراقبت بیشتر، زمان بیکاری طولانی‌تر و عدم تناسب جهت اتوماسیون سازی. از طرف دیگر استفاده‌ی مطلوب از فضا، دقت و سرعت عمل بالاتر و سازگاری مناسب جهت ارتقا از مزایای جرثقیل‌های محوطه‌ای نظیر RTG و RMG محسوب می‌شوند (Watanabe, 2001). با این وجود، جرثقیل‌های فوق در مقایسه با سامانه‌های SC به علت وزن و حجم بسیار بالا هزینه‌های بیشتری را جهت آماده سازی زمین و تعمیرات آتی به دنبال دارند. در این میان RTGها انعطاف پذیری بیشتری نسبت به RMGها دارند و در هزینه‌های خرید و عملیات مقرون به صرفه‌تر هستند اما RTGها نسبت به RMGها هزینه بیشتری را به خود اختصاص می‌دهند (Containerisation International, 1996, 1990-2006).

---

[1] Southampton
[2] Europe Combined Terminals
[3] Rotterdam
[4] بنادر محور
[5] Hutchinson Freeport

۲. پیشینه‌ی تحقیق

بهره‌وری عملیات پشته‌سازی کانتینرها در پایانه‌های کانتینری، در بسیاری از مطالعات از نظر اقتصادی، به ویژه از منظر اثربخشیِ هزینه مورد بررسی قرار گرفته است. Hatzitheodoroue (1983) هزینه‌ی کل پشته‌سازی را با هزینه‌ی عملیات جابجایی در یک پایانه‌ی کانتینری تحت یک سامانه عملیاتی (ToL)[1] مورد بررسی قرار داده است. Hee (1998) مدلی را پیشنهاد نمودند که در آن بهره‌وری عملیات ریچ استاکر[2] (RS) را در یک پایانه اندازه‌گیری می‌کند. تحلیل حساسیت ارائه شده در مقاله آنان مؤلفه‌های هزینه-ای مرتبط در نمونه‌های واقعی را مورد مقایسه قرار می‌دهد. Nahavandi (1996)، Chu (2003) و Petering (2011) مطالعات مختلفی را به منظور محاسبه تعداد کانتینرهای مورد نیاز در پایانه-های کانتینری، با توجه به سامانه‌های مختلف عملیات جابجایی کانتینری انجام داده‌اند. آنها در مطالعات خود پارامترهای مختلف هزینه را بحث نموده‌اند. Kap و Hong (۱۹۹۸) یک مدل مفهومی از هزینه را جهت محاسبه فضای بهینه و تعداد جرثقیل‌ها در یک پایانه پیشنهاد داده‌اند. Kim (1998, 2002) یک مدل را تعیین و محاسبه هزینه را برای طرح‌های مختلف تعیین موقعیت و مکان و همچنین انتخاب سامانه‌های جابه‌جایی ارائه داده‌اند و در آن متغیرهای مختلفی از هزینه‌ها را در تحلیل خود گنجانده‌اند. آنها مدلی را پیشنهاد کرده‌اند که در آن هزینه‌های متغیر عملیات و سرمایه گذاری‌های ثابت را با هم تلفیق نموده‌اند تا به منظور اتخاذ تصمیمات مورد استفاده قرار گیرد. در مطالعه و تحلیل آنها دو هدف دنبال شده است: کمینه هزینه کل عملیات پایانه‌ها و هزینه-های مربوط به کاربران. Zhow و همکاران (۲۰۰۱) یک مدل مقایسه‌ای هزینه را برای سامانه‌های مختلف پشته‌سازی و جابجایی کانتینر ارائه داده‌اند. مدل پیشنهادی آنان یک روش یکپارچه و منسجمی را برای محاسبه حداکثر عملکرد، بهینه‌ترین هزینه برای سامانه عملیاتی و بالاترین درآمد حاصل از عملیات در پایانه‌های کانتینری ارائه می‌دهد. Ha and Nam (2001) جنبه‌های مختلف بکارگیری فن‌آوری‌های پیشرفته‌ای نظیر برنامه‌ریزی هوشمند عملیات در سامانه‌های جابجایی اتوماتیک را برای پایانه‌های کانتینری مورد ارزیابی قرار داده‌اند. مطالعه آنان معیارهای مختلفی را با الگوهای مختلف برای ارزیابی سامانه‌های جابجایی و پشته-سازی تبیین نموده است. این معیارها در محوطه پایانه‌های کشور کره جنوبی به کار گرفته شده است. نتایج حاصل از مطالعات آنان نشان می‌دهد که استفاده از تجهیزات اتوماتیک مفهوم کلی سیاست کاهش هزینه‌ها در پایانه‌های کانتینری را نقض نمی‌نماید. Liu و همکاران (۲۰۰۲) چهار شیوه مختلف طراحی پایانه‌های کانتینری اتوماتیک را با استفاده از مدل شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار داده‌اند. آنها تحلیل دقیقی را از هزینه‌های مربوط به اجرای مدل خود ارائه داده‌اند که در آن عملکرد سامانه از نقطه نظر عملیاتی پایانه‌ها مورد تحلیل و بحث قرار گرفته است. مدل هزینه‌ی ارائه شده در تحقیق آنها عوامل هزینه‌ای مرتبط با هر کدام از پایانه‌های اتوماتیک را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. نتایج حاصله بیانگر این است که اتوماسیون‌سازی می‌تواند عملکرد هزینه‌ای پایانه‌های کانتینری را به‌صورت چشمگیری پایین نگه دارد. Saanen و همکاران (۲۰۰۳ و ۲۰۰۶) برای ارزیابی هزینه‌های بخش‌های مختلف و تجهیزات مختلف موجود در یک پایانه‌ی کانتینری، مدل‌های هزینه‌ای قابل توجهی را ارائه داده‌اند. نمونه‌های بررسی شده در تحقیق آنان میزان بهره‌وری و اثربخشی هزینه‌ی یک سامانه SC را با AGV[3] و ALV[4] مورد مقایسه قرار داده است. بر خلاف سایر مطالعات، آنها به این نتیجه رسیدند که طراحان پایانه‌های کانتینری باید در ابتدا حداکثر تعداد AGVها و ALVهای اختصاص یافته به هر پایانه را محاسبه کنند و سپس به شناسایی سامانه‌های عملیاتی مناسب بپردازند. در بررسی آنان بهره‌وری پایانه‌ها با افزایش هزینه‌ها کاهش می‌یابد. در تحقیقات مختلف انجام گرفته توسط Yang و همکاران (۲۰۰۴)، Harika و Vis (۲۰۰۴) بهره‌وری و راندمان بهینه پایانه‌های کانتینری اتوماتیک در کنار حداقل هزینه‌ی ممکن مورد بحث قرار گرفته است. آنها به این مبحث پرداخته‌اند که برخی ALVها نظیر SCهای اتوماتیک، بهره‌وری بالاتر و اثربخشی هزینه‌ای بیشتری را به دنبال دارند. علت این مسئله این است که این تجهیزات می‌توانند زمان انتظار وسائل حمل‌کننده در محوطه‌های پشته سازی را کاملاً حذف نمایند.

۳. تجزیه و تحلیل متغیرها و پارامترهای هزینه

بهره‌وری و کارآیی پایانه‌های کانتینری نه تنها با سامانه‌های عملیاتی نیمه اتوماتیک و اتوماتیک محوطه‌ی کانتینری ارتباط

[1] Top Loader
[2] Reach Stacker
[3] Automated Guided Vehicles
[4] Automated Loading Vehicles

مستقیمی دارد بلکه با عملکرد و کارآیی مدل هزینه‌ای مناسب نیز ارتباط تنگاتنگی دارد. متغیرها و پارامترهای اصلی که نقش تعیین-کننده‌ای در مدل تابع هزینه‌ای سامانه‌های عملیاتی پایانه‌های کانتینری ایفا می‌کنند، باید به درستی شناخته شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. اطلاعات مربوط به پارامترهای مختلف هزینه‌ای در این تحقیق از منابع مختلفی به ویژه از پایانه کانتینری بندر ساوتهمتون (SATN)، پایانه کانتینری بندر تایمز (THAMES)، پایانه کانتینری بندر لیورپول کشور انگلیس (LPL)، سازمان توسعه و تجارت سازمان ملل (UNCTAD, 1990-2005) و (Watanabe, 2001) پایانه‌های کانتینری مختلف در سراسر جهان و تولیدکنندگان تجهیزات بندری جمع‌آوری گردیده است. در این مقاله پارامترهای مربوط به میانگین هزینه‌ها در جداولی نشان داده شده است که در آن پارامترهای هزینه‌ای و متغیرهای مربوط به آنان با هزینه مستقیم سرمایه‌گذاری دولتی و هزینه‌های غیرمستقیمی نظیر نگهداری، تعمیر و هزینه‌های عملیاتی در ارتباط هستند. سایر هزینه‌ها نظیر هزینه مدیریت محوطه کانتینری، هزینه‌های مرتبط با نظارت، مدیریت و کنترل فرآیند کانتینرها با تجهیزات داخلی محوطه و وسایل خارجی که ممکن است در درآمد پایانه‌ها نقشی داشته باشند از دامنه این تحقیق خارج است. پارامترها و متغیرهای یاد شده را می‌توان در سه دسته زیر طبقه‌بندی و تبیین نمود.

۳-۱. *هزینه‌های نگهداری و توسعه محوطه کانتینری*

در بنادر مختلف واقع در موقعیت‌های سیاسی و جغرافیایی گوناگون، عوامل اثرگذار متنوعی وجود دارد که می‌توانند حجم سرمایه گذاری و سرانجام امکان توسعه و کیفیت نگهداری فضای اجاره شده یا خریداری شده را تحت تاثیر قرار دهند. از این عوامل می‌توان به یارانه‌ها، سوبسیدها، وام‌ها و استقراض از دولت و یا بانک‌ها جهت توسعه و ارتقای ویژه‌گی‌های فیزیکی پایانه‌های کانتینری نظیر ردیف هزینه‌های صرف شده برای امور عمرانی، هیدروگرافی، زمین‌شناسی، هواشناسی، علوم و فنون دریایی و اقیانوس‌شناسی، عوامل محیط‌زیست و ساحلی اشاره کرد (UNCTAD, 1985). با این وجود، عوامل و موضوعات یاد شده خارج از دامنه و پوشش این تحقیق است. این تحقیق به چهار عامل اصلی مرتبط با سرمایه‌گذاری زمین، توسعه، نگهداری و استهلاک می‌پردازد. تقریبا در تمام بنادر انگلستان نظیر SATN، THAMES و LPL، فضای موجود در محوطه بندری به نحوی دارایی‌های دولتی محسوب می‌شوند. بر همین اساس، هزینه‌ی اولیه سرمایه‌گذاری در زمین در بنادر انگلستان ممکن است با بنادر کشورهای اروپایی و به‌خصوص برخی از کشورهای آسیایی مانند ژاپن، سنگاپور و هنگ‌کنگ کاملاً متفاوت باشد. این تحقیق به عوامل زیر که در مدل هزینه پیشنهاد شده است می‌پردازد:

- هزینه‌ی سرمایه‌گذاری در خرید زمین،
- هزینه توسعه محوطه کانتینری،
- هزینه‌ی استهلاک توسعه محوطه کانتینری،
- هزینه نگهداری محوطه کانتینری،

۳-۲. *هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری، راه‌اندازی و نگهداری جرثقیل‌ها*

هزینه‌ها و عوامل مرتبط با سرمایه‌گذاری، راه‌اندازی و نگهداری یک سامانه عملیاتی محوطه کانتینری به صورت زیر طبقه بندی می‌شود:

- هزینه خرید جرثقیل

قیمت خرید سامانه‌ها و تجهیزات عملیاتی محوطه‌های کانتینری مانند جرثقیل‌ها به عوامل زیر بستگی دارد:

۱) زمان سفارش
۲) میزان سفارش
۳) مکان و موقعیت تولیدکننده نسبت به خریدار
۴) نوع تجهیزات (نوع، ظرفیت، اندازه، درجه‌ی فنآوری اتوماسیون بکار رفته، سرعت جانبی و عرضی جرثقیل‌ها، تعداد، نوع و سرعت کشنده‌ها و بالابرها و غیره)
۵) نوسانات قیمت بازار

- هزینه سالیانه سرمایه‌گذاری در جرثقیل‌ها با کمک‌های مالی و بودجه‌های دولتی
- عمر مفید جرثقیل‌ها (t)
- هزینه استهلاک جرثقیل‌ها
- هزینه نگهداری جرثقیل
- هزینه عملیات درون محوطه‌ای جرثقیل‌ها

۳-۳. *هزینه جابه‌جایی کانتینرها*

میانگین هزینه سالیانه جابجایی کانتینرها به اسکله و بالعکس به عنوان درصدی از هزینه‌ی متوسط عملیات جابه‌جایی کانتینرها

توسط AGVها در سامانه‌های RTG یا RMG، SCها، در سامانه SC مستقیم، وسایل داخلی یا تریلرهای کشنده، در سامانه امدادی SC و یا سایر وسایل جابجا کننده کانتینرها بین اسکله و محوطه پشته-سازی بیان می‌شود.

۴. مدل‌سازی تابع هزینه

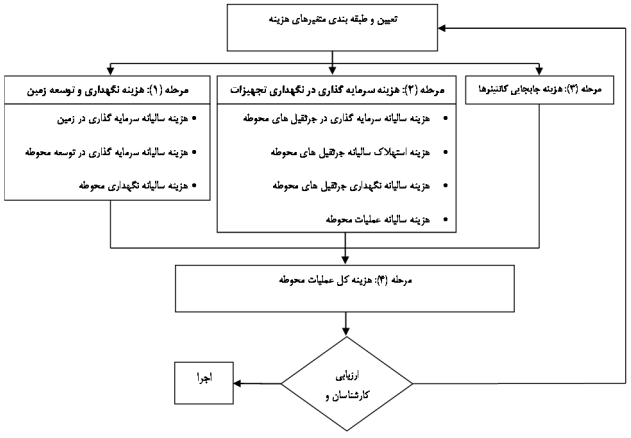
انتخاب مناسب‌ترین سامانه عملیاتی محوطه‌های کانتینری پایانه-ها یکی از دشوارترین تصمیماتی است که در مرحله طراحی و برنامه‌ریزی پایانه‌های کانتینری اتخاذ می‌شود. تصمیمات باید برای یک دوره بلندمدت اتخاذ شوند. تعیین جایگاه و موقعیت آینده یک بندر نیز امری دشوار است. آیا برنامه‌های توسعه‌ی آتی بندر به گونه‌ای خواهد بود که بندر کوچک ما به یک بندر بزرگ و اصلی تبدیل شود؟ آیا احتمال آن است که در آینده قیمت زمین ارزان‌تر شود به‌طوری‌که فضای کافی برای توسعه پایانه قابل خریداری و در دسترس باشد؟ هزینه توسعه یک سامانه عملیاتی خاص و ویژه در یک پایانه چقدر است؟ سؤالات بسیار دیگری ممکن است وجود داشته باشد که قبل از اتخاذ تصمیم نهایی باید به آنها پاسخ داده شود. علاوه بر موارد مذکور عوامل هزینه‌ای دیگری نیز وجود دارد که برخی از آنها به صورت واحدهای کیفی بیان می‌شوند و می-توانند نقشی تعیین‌کننده و اثرگذار بر طرح و تصمیمات اتخاذ شده در تامین تجهیزات محوطه‌های کانتینری در یک پایانه ایفا کنند. این گونه عوامل عبارتند از:

- شرایط، شکل و اندازه زمین تخصیصی
- عملکرد سالیانه پایانه
- ظرفیت و توانایی چینش عمودی تجهیزات محوطه کانتینری و ظرفیت زیر پوشش آنان
- نوع، تعداد و سطح فن‌آوری به‌کار رفته در تجهیزات محوطه کانتینری
- انعطاف پذیری سامانه عملیاتی
- سهولت نگهداری و تعمیرات
- استحکام ساختاری محوطه کانتینری
- عمر مفید تجهیزات
- ملاحظات زیست محیطی و اجتماعی

این تحقیق به بررسی سامانه‌های عملیاتی SC، RTG و RMG می‌پردازد. مدل هزینه‌ی ارائه شده در این تحقیق مؤلفه‌های زیر را مورد مقایسه قرار می‌دهد:

۱) هزینه خرید زمین، هزینه نگهداری و توسعه محوطه کانتینری
۲) هزینه‌ی خریداری تجهیزات، نگهداری و راه‌اندازی یک سامانه عملیاتی مناسب در محوطه کانتینری
۳) هزینه جابه‌جایی کانتینرها

مؤلفه‌های هزینه‌ای دیگری نظیر هزینه‌های مدیریت و امور اداری، تورم، افزایش پیش‌بینی شده قیمت زمین، سوخت و روغن مصرفی و قطعات یدکی و غیره نیز وجود دارد که بررسی آنها از اهداف و دامنه‌ی این تحقیق خارج است. باید توجه داشت که سامانه‌های مختلف عملیاتی محوطه‌های کانتینری هزینه‌های متفاوتی نظیر تسهیلات، تدارکات، نصب و آموزش را نیاز دارند که بر هزینه کل سالیانه سامانه به‌کارگرفته شده تاثیر خواهد گذاشت. همچنین باید بین هزینه‌های مربوط به خرید و نگهداری زمین و تجهیزات و هزینه‌های مرتبط با عملیات سامانه به‌کار گرفته شده در محوطه‌های کانتینری یک موازنه منطقی وجود داشته باشد. این تحقیق شیوه‌ای مبتنی بر هزینه ارائه می‌دهد که در شکل ۱ به صورت مرحله به مرحله نشان داده شده است.



شکل ۱: فرآیند تابع هزینه

مرحله ۱: هزینه خرید، نگهداری و توسعه زمین

Fabrycky and Thuesen 1993; Steinerh 1992; Guthrie) (and Lemon 2004; UNCTAD 2002 استفاده از عامل بازگشت سرمایه (CRF) برای محاسبه هزینه سالیانه سرمایه‌گذاری برای `t` سال عمر یک پروژه را پیشنهاد نموده‌اند. هزینه خرید، نگهداری و توسعه زمین برای عملیات محوطه کانتینری تحت یک سامانه عملیاتی خاص با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

- هزینه سالیانه سرمایه‌گذاری در زمین

$$LC = CL \times AT \times CRF$$ رابطه ۱

LC= هزینه سالیانه سرمایه‌گذاری در زمین در سال

CL= متوسط هزینه یک متر مربع زمین بر حسب پوند/ متر مربع

AT= کل فضای اختصاص داده شده در پایانه کانتینری به یک سامانه عملیاتی خاص (شامل محوطه پشته سازی + درب ورود و خروج، CFS، کارگاه تعمیرات، محل نگهداری کانتینرهای ترانسشیپ + منطقه تبادل و غیره) بر حسب مترمربع

CRF، عامل بازگشت سرمایه که سرمایه گذاری اولیه را به یک سری متوسط هزینه سالیانه تبدیل می‌کند،

رابطه ۲
$$CRF = \frac{i \times (1+i)^t}{(1+i)^t - 1}$$

t= دوره عمر پایانه بر حسب سال

i= میانگین نرخ بهره سالیانه

هزینه سالیانه توسعه محوطه کانتینری،

رابطه ۳
$$YDC = CD \times AT \times CRF$$

YDC= هزینه سالیانه توسعه محوطه کانتینری بر حسب پوند/ سال

CD= هزینه توسعه یک متر مربع زمین برای یک سیستم عملیاتی خاص بر حسب پوند/ مترمربع

- هزینه استهلاک سالیانه توسعه محوطه کانتینری

رابطه ۴
$$Y_{dep}C = \frac{(CD \times AT) - S_{yard}}{t}$$

$Y_{dep}C$= هزینه استهلاک سالیانه توسعه محوطه کانتینری بر حسب پوند/ سال

S_{yard}= ارزش بازیافتی تسهیلات بر حسب پوند

- هزینه سالیانه توسعه محوطه کانتینری

در این تحقیق از شیوه FWF پیشنهاد شده توسط UNCTAD و (Constantinides, 1990) استفاده می‌شود.

رابطه ۵
$$YMC = CYM \times FWF$$

YMC= هزینه سالیانه نگهداری محوطه کانتینری بر حسب پوند/ سال

CYM= متوسط هزینه سالیانه نگهداری سیستم عملیاتی محوطه کانتینری بر حسب پوند

$$FWF = (1+i)^{t-1}$$

t= دوره عمر پایانه بر حسب سال

i= میانگین نرخ بهره سالیانه

مرحله (۲): هزینه سرمایه‌گذاری، راه‌اندازی و نگهداری جرثقیل‌ها

در این تحقیق فرض بر این است که تنها یک نوع سامانه عملیاتی نظیر SC، RTG یا RMG در پایانه‌های مورد استفاده قرار گیرد. اگرچه به‌کارگیری ترکیبی از سامانه‌های یاد شده نیز امکان-پذیر است، اما بررسی و تحلیل تاثیر آنها از اهداف این تحقیق نیست. هزینه‌های صرف شده در هر سامانه عملیاتی در فرآیند زیر نشان داده شده است:

- هزینه سالیانه سرمایه‌گذاری در جرثقیل‌های محوطه

رابطه ۶
$$IC = PC \times NC \times CRF$$

IC= هزینه سالیانه سرمایه‌گذاری در سامانه عملیاتی محوطه کانتینری بر حسب پوند/ سال

PC= هزینه خرید هر جرثقیل محوطه بر حسب پوند

NC= میانگین تعداد RMG، RTG یا SC (با توجه به تحقیقات انجام شده در این زمینه)

- هزینه استهلاک سالیانه جرثقیل‌های محوطه

رابطه ۷
$$DC = \frac{PC - S_{crane}}{t}$$

DC= هزینه سالیانه استهلاک جرثقیل های محوطه بر حسب پوند/ سال

S_{crane}= ارزش بازیافتی یک سامانه عملیاتی خاص

t= میانگین دوره عمر جرثقیل‌ها بر حسب سال

- هزینه سالیانه نگهداری جرثقیل‌های محوطه

هزینه نگهداری شامل هزینه تهیه قطعات یدکی، تعمیرات، سوخت (انرژی)، بیمه و غیره است. باید توجه داشت که همزمان با افزایش عمر جرثقیل‌های محوطه، هزینه نگهداری نیز افزایش می‌یابد. این تحقیق از شیوه‌های پیشنهادی Constantinides (1990) و UNCTAD (2005) استفاده می‌کند. این مفهوم به-صورت زیر بیان می‌شود:

رابطه ۸
$$MCC = PC \times FWF$$

MCC= هزینه سالیانه نگهداری سیستم عملیاتی محوطه کانتینری بر حسب پوند/ سال

PC= میانگین هزینه سالیانه نگهداری تجهیزات بر حسب پوند

$$FWF = (1+i)^{t-1}$$

t= متوسط عمر مفید جرثقیل‌ها بر حسب سال

i= متوسط نرخ بهره سالیانه

- هزینه عملیات درون محوطه‌ای

$$OC = HC_{TEU} \times C_Y \times CRF$$ رابطه ۹

OC= هزینه سالیانه عملیات جابجایی درون محوطه‌ای کانتینرها بر حسب پوند/ سال

HC_{TEU}= متوسط هزینه جابجایی یک کانتینر بر حسب پوند/ کانتینر (میانگین هزینه برای یک TEU و یا یک FEU)

CY= عملکرد سالیانه پایانه (با توجه به تحقیقات انجام گرفته) بر حسب TEU

- هزینه راه‌اندازی و اداره

در عملیات روزانه محوطه کانتینری عموماً دو نیروی انسانی متخصص مشغول به‌کار هستند. یکی اپراتور جرثقیل و دیگری ناظر و هماهنگ‌کننده عملیات جابجایی کانتینر از اسکله به محوطه پشته‌سازی کانتینر و برعکس است. هنگامی که عملیات محوطه کانتینری کاملاً خودکار و اتوماتیک شود، دیگر به وجود این نیروها نیازی نخواهد بود. به‌جای آن در تمام اوقات متخصصین اتوماسیون جهت نظارت بر عملیات و تأمین جرثقیل-های محوطه به‌کار گرفته می‌شوند. در پایانه‌های کانتینری امروزی انتظار می‌رود که میانگین دستمزد متخصصین بالا باشد. هزینه اپراتور هر جرثقیل و نیروی محوطه‌ی کانتینری به صورت زیر تبیین می گردد:

- هزینه اپراتورهای جرثقیل

$$LC_{driver} = NL_{shift}^{driver} \times N_{shift} \times AS_{CD}$$ رابطه ۱۰

LC_{driver}= هزینه سالیانه نیروی انسانی برای تمامی جرثقیل‌ها بر حسب پوند/ سال

(شامل جرثقیل‌های محوطه‌ای، دروازه‌ای، ریلی و محل‌های نگهداری کانتینرهای پشته‌های ترانسشیپ، خالی و سردخانه‌ای بر حسب پوند/ سال)

NL_{shift}^{driver} = تعداد اپراتورهای جرثقیل در هر شیفت

N_{shift}= تعداد شیفت‌ها در ۲۴ ساعت

AS_{CD}= میانگین دستمزد سالیانه یک اپراتور جرثقیل شامل مالیات‌ها، بیمه، پاداش و مزایا و غیره بر حسب پوند/ سال/ نفر

- هزینه نیروی ناظر و هماهنگ‌کننده

$$LC_{YFM} = NYF_{day} \times N_{shift} \times AS_{YF}$$ رابطه ۱۱

LC_{YFM}= هزینه سالیانه تمامی پرسنل محوطه کانتینری بر حسب پوند/ سال

NYF_{day}= تعداد QSCها و جرثقیل‌های محوطه در هر روز پرسنل محوطه کانتینری برای هماهنگی

AS_{YF}= میانگین دستمزد سالیانه یک نفر ناظر محوطه کانتینری شامل مالیات‌ها و تمام مزایای دیگر بر حسب پوند/ سال/ نفر

مرحله (۳): هزینه جابجایی کانتینرها

در یک پایانه، با توجه به نوع سامانه مورد استفاده، جابه‌جایی کانتینرها بین اسکله و محوطه کانتینری و بالعکس می‌تواند با SCها، T-Tها ، AGVها و غیره صورت پذیرد. هزینه‌ی جابه-جایی کانتینرها با سامانه کمکی SC و سایر شیوه‌های جابه‌جایی نظیر AGV، لیفتراک، T-Tها و غیره در مقایسه با سیستم SC بیشتر است. هزینه کل جابه‌جایی کانتینرها به استثنای هزینه‌های مربوط به تجهیزات جابه‌جایی نظیر هزینه‌های نگهداری، استهلاک و سرمایه گذاری به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$C_{transfer} = C_{TEU} \times C_Y \times N_{moves}$$ رابطه ۱۲

$C_{transfer}$= هزینه سالیانه عملیات جابه‌جایی کانتینر بر حسب پوند/ سال

C_{TEU}= میانگین هزینه جابه‌جایی یک کانتینر بر حسب پوند/ کانتینر

C_Y= عملکرد سالیانه پایانه کانتینری بر حسب TEU

N_{moves}= مقدار متوسط جابجایی هر کانتینر توسط یک وسیله جابه‌جایی خاص در پایانه (حداقل ۲ حرکت برای وظایف ورودی و خروجی).

مرحله (۴): هزینه کل عملیات محوطه کانتینری

هزینه کل یک سامانه عملیاتی محوطه کانتینری برابر است با مجموع تمام هزینه‌های مراحل ۱ الی ۳، این رابطه به‌صورت زیر نشان داده می‌شود:

رابطه ۱۳

$$TC = LC + YDC + Y_{dep}C + YMC + IC + DC + MCC + OC + LC_{driver} + LC_{YFM} + C_{transfer}$$

این تحقیق نوعی شاخص برای مقایسه‌ی هزینه‌های درون پایانه‌ها را معرفی می‌کند که به طراحان بنادر کمک می‌کند تا میزان اثربخشی هزینه سامانه‌های عملیاتی محوطه کانتینری را در مقایسه با یکدیگر اندازه‌گیری کنند.

۵. تحلیل حساسیت

این تحقیق جهت کمک به طراحان، مدیران و اپراتورهای پایانه‌های کانتینری در تصمیم‌گیری، مفهومی از یک فرآیند مقایسه‌ای هزینه را جهت تحلیل حساسیت معرفی کند. شاخص مقایسه هزینه‌ها، اثربخشی هزینه یک سامانه عملیاتی محوطه کانتینری را با سایر سامانه‌ها بر حسب سرمایه‌گذاری، نگهداری، عملیات، استهلاک و غیره مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. شیوه‌ی عامل شدت متغیر (VIF)[1] اثربخشی هزینه‌های مربوط به پارامترهای انتخاب شده در مقایسه با یکدیگر را مورد بررسی و تحلیل قرار می‌دهد.

۵-۱. شاخص مقایسه‌ای هزینه

انتخاب یک سامانه عملیاتی مقرون به صرفه با مقایسه پارامترهای هزینه‌ای مشابهی صورت می‌پذیرد. برای مثال می‌توان به روش تعیین هزینه‌های سالیانه صرف شده برای هر سامانه عملیاتی کانتینری (TCY) در مرحله ۴ اشاره کرد. هنگامی که هزینه سالیانه‌ی یک سامانه به عنوان معیار در نظر گرفته شود و دیدگاه صرفه اقتصادی مدنظر باشد، آنگاه در مقایسه $TCY_{SC}<TCY_{RTG}$ و $TCY_{SC}<TCY_{RMG}$، سامانه‌های عملیاتی نیمه اتوماتیک SC بر سایر سامانه‌ها نظیر RTG نیمه اتوماتیک یا RMG تمام اتوماتیک ترجیح داده می‌شود و زمانی که مقایسه $TCY_{RTG}<TCY_{SC}$ و $TCY_{RTG}<TCY_{RMG}$ مطرح باشد، آنگاه سامانه‌های نیمه اتوماتیک RTG بر سامانه SC یا سامانه RMG اتوماتیک برتری دارد. این تحقیق به منظور نشان دادن کارآیی سامانه‌های SC نیمه اتوماتیک، RTG نیمه اتوماتیک و RMGتمام اتوماتیک از متغیرهای `k` , `j` و `m` استفاده می‌کند. بنابراین شاخص مقایسه هزینه‌ها با توجه به مقایسه اثربخشی هزینه‌های SC با RTG و RMG، RMG با RTG به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$R_{j/k} = \frac{TCY_j}{TCY_k}$$ رابطه ۱۴

$$R_{j/m} = \frac{TCY_j}{TCY_m}$$ رابطه ۱۵

$$R_{m/k} = \frac{TCY_m}{TCY_k}$$ رابطه ۱۶

ترکیبات دیگری نیز امکان‌پذیر است. در این فرآیند و بر اساس اجرای سیاست گزینش پایین‌ترین هزینه، اگر $Rj/k < 1$ باشد، آنگاه سامانه عملیاتی `j` بر سامانه `k` ترجیح داده می‌شود. البته اگر $R_{k/j} = ۱$ باشد، آنگاه هیچ‌گونه برتری در بین سامانه‌ها وجود نخواهد داشت. بنابراین تحلیل حساسیت در حالت $R_{j/k} = ۱$ برای بهتر نشان دادن این قبیل ارتباطات مورد نیاز است.

۵-۲. عامل شدت متغیر (VIF)

متغیرها و پارامترهای پیشنهادی در این مدل هزینه‌ای ممکن است از یک بندر به بندر دیگر و از یک زمان به زمان دیگر متفاوت باشد و تغییر کند. بنابراین ممکن است برای نشان دادن ارزش برتری یک سامانه عملیاتی بر سایر سامانه‌ها با توجه به هزینه‌های فردی، تحلیل حساسیت دقیق‌تری مورد نیاز باشد. طراح یک پایانه و یا اپراتور یک بندر ممکن است پارامترهای هزینه‌ای متفاوتی را برای خود تعریف نماید و برای نشان دادن تاثیر تغییرات هزینه‌ای، تحت شرایط جدید و یا متفاوتی، سایر عوامل را بدون تغییر در نظر بگیرد. یک مدیر ممکن است در مقایسه با خرید سامانه نیمه اتوماتیک RTG، یک سامانه SC را خریداری نماید و یا تصمیم خود را از خرید یک سامانه SC به سامانه RTG نیمه اتوماتیک تغییر دهد. در همین ارتباط او بایستی ارزش برتری سامانه SC بر RTG را با استفاده از پارامترهای هزینه‌ای خاص، عامل شدت هزینه (R) و عامل شدت متغیر (VIF) محاسبه نماید. Hee (1998)، VIF را بدین گونه تعریف نموده است:

$$VIF_{j/k} = \frac{CP_j \times R_{j/k}}{CP_k - CP_j}$$ رابطه ۱۷

[1] Variable Intensity Factor

$VIF_{j/k}$= عامل شدت متغیر سامانه عملیاتی `j` نسبت به `k`

$R_{j/k}$= شاخص مقایسه سامانه عملیاتی `j` بر `k`

CP_k= میزان پارامتر هزینه`k`

CP_j= میزان پارامتر هزینه `j`

$CPk \neq CP_j$

مقدار `VIF` به‌دست آمده، برتری نسبی یک سامانه بر سایر سامانه‌ها را نشان می‌دهد. هر چه مقدار این نسبت مثبت و بیشتر باشد، میل و رغبت طراحان و مدیران پایانه‌ها برای استفاده از آن بیشتر خواهد بود. هنگامی که میزان `VIF` یک سامانه به‌عنوان مثال سامانه `j` بر سامانه `k` منفی باشد، که به‌صورت $VIF_{j/k} < 0$ نشان داده می‌شود، آنگاه مقادیر به‌دست آمده گویای این مطلب خواهد بود که سامانه `j` به همان میزان مزیتی نسبت به سامانه `k` ندارد. این عدم برتری بر اساس مؤلفه‌های هزینه‌ای متغیر در تحلیل مورد توجه قرار می‌گیرد. بسته به ارزش و علامت عدد محاسبه شده برای ترکیبات مختلف هزینه‌ها، مزیت سامانه `j` نسبت به سامانه `k` مشخص می‌گردد. به‌درستی می‌توان گفت زمانی که مقدار $VIF_{j/k}$ منفی شود، می‌توان فرض کرد که سامانه `k` بر سامانه`j` ارجح‌تر است. در این مورد مقدار $VIF_{k/j}$ ممکن است حتی با علامت مخالف و متضاد برابر با $VIF_{j/k}$ نباشد. این امر بدین معنی است که میزان دقیق $VIF_{k/j}$ بایستی به همان صورت مورد محاسبه قرار گیرد. در اینجا بایستی توجه داشت که چنانچه مقادیر CP_k و CP_j نزدیک به یکدیگر باشند، آنگاه VIF به‌دست آمده بسیار بالا و مقادیر نمایشی غیرواقعی خواهد بود. برای اجتناب از عدم اطمینان در محاسبه‌ی مقدار VIF بهتر است که عوامل هزینه نامساوی و ترجیحا با اختلافی بالا انتخاب شوند.

۶. نمونه مورد مطالعه

- در این تحقیق، اطلاعات به‌دست آمده از بنادر تایمز، لیورپول و ساوتهمتون کشور انگلیس برای ارزیابی نمونه‌های واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این تحقیق برای ارزیابی قابلیت و کاربرد مدل پیشنهادی، از روش‌های هزینه‌ای متداول و متغیرهای متنوعی استفاده می‌کند. بیشتر ارقام از بنادر انگلستان و با توجه به اهداف تحقیق، بر اساس واحد پولی پوند استرلینگ و مفروضات زیر به‌دست آمده است:
- ابعاد محوطه کانتینری مشابه بندر SATN، حدود ۳۵۰ × ۴۰۰ متر مربع (۱۴ هکتار) فرض شده است.
- متوسط نرخ بهره حدود ۸ درصد در نظر گرفته شده است.
- هزینه‌ای بالغ بر ۳۸ پوند/ مترمربع به منظور اجاره بلندمدت (معمولاً ۵۰ سال برای بنادر کشورهای بریتانیایی و قابل تجدید) برای سرمایه گذاری در زمین در نظر گرفته شده است.
- هزینه توسعه برای سامانه‌های RMG×RTG×SC به ترتیب ۲۳ پوند، ۳۸ پوند و ۵۲ پوند / مترمربع در نظر گرفته شده است.
- هزینه نگهداری محوطه کانتینری در حدود {(۱۴ هکتار) ۷۹۸۰ × ۰/۱۵ درصد پوند}، ۴۰۰ × ۳۵۰ × ۳۸ پوند، برای سامانه‌های SC، RTG ، RMG در نظر گرفته شده است.
- عمر مفید (t) پایانه‌های کانتینری حدود ۵۰ سال فرض شده است.
- هزینه خرید هر دستگاه SC (۱ بر روی ۳) = ۲۶۰۸۷۰ پوند / دستگاه) ۶+۱ RTG (۱ بر روی ۵) = ۴۷۱۵۵۰ پوند/ جرثقیل و ۱۲+۲ RMG (۱ بر روی ۵) = ۶۲۳۲۰۰ پوند / جرثقیل.

تعداد جرثقیل‌های محوطه‌ای که در تحقیق Kiani (2007) عنوان شده است، عبارتند از: تعداد ۶۳ SC، ۳۰ RTG و حدود ۲۴ RMG.

میانگین عمر مفید (t)، ۱۵ سال برای SC، ۱۵ سال برای RTG و ۲۰ سال برای RMG در نظر گرفته شده است. این تحقیق ۲۰ درصد هزینه سرمایه‌گذاری اولیه توسعه محوطه کانتینری و به‌ترتیب ۱۰ درصد، ۲۰ درصد و ۳۰ درصد از هزینه سرمایه‌گذاری اولیه جرثقیل‌های SC، RTG، RMG را به‌عنوان ارزش بازیافتی پس از گذشت عمر مفید این وسایل در کشور انگلستان در نظر گرفته است.

مقدار میانگین به میزان ۱ درصد، ۰/۸ درصد ، ۰/۴ درصد از هزینه خرید اولیه SC، RTG و RMG به‌عنوان هزینه سالیانه نگهداری این جرثقیل‌ها در نظر شده است. بنابراین متوسط هزینه سالیانه نگهداری جرثقیل‌های محوطه برابر است با:

SC= ۲۶۰۸۷۰×۶۳×۱ درصد = ۱۶۴۳۴۸ پوند

RTG= ۴۷۱۵۵۰×۲۴×۰/۸ درصد = ۱۲۳۱۷۲ پوند

RMG= ۶۳۳۲۰۰×۲۴×۰/۴ درصد = ۵۹۸۲۷ پوند

فرض بر این است که هزینه عملیات درون محوطه‌ای کانتینرها ۰/۴ پوند/ کانتینر برای SC، ۰/۵ پوند/ کانتینر برای RTG و ۰/۳پوند / کانتینر برای تمامی سامانه‌های RMG است.

حداکثر عملکرد سالیانه SC (۱ بر روی ۳) برابر است با ۱۳۷۹۸۷۶ TEU در سال، RTG ۶+۱ (۱ بر روی ۵) برابر است

با ۱۹۷۲۱۹۶ TEU در سال و RMG ۲+۱۲ (۱ بر روی ۵) برابر است با ۲۱۱۳۱۶۸ TEU در سال.

میانگین دستمزد پرداختی به اپراتور و نیروهای محوطه کانتینری به ترتیب در حدود ۱۵۰۰۰ و ۱۷۵۰۰ پوند در سال در نظر گرفته شده است. سه شیفت کاری در هر روز وجود دارد که پرسنل آن در ۲۴ ساعت شبانه روز و ۳۶۵ روز در سال مشغول به فعالیت هستند.

تعداد اپراتورهای جرثقیل‌ها در هر شیفت ۴۰ نفر برای SC،۲۰ نفر برای RTG و ۱۵ نفر برای سامانه‌های RMG فرض شده است. تعداد نیروهای محوطه کانتینری برای SC= ۴، RTG = ۳ و RMG = ۲ در نظر گرفته شده است.

هزینه جابه‌جایی کانتینرها در حدود ۰/۱۰ پوند، ۰/۲۰ پوند و ۰/۲۵ پوند / کانتینر به ترتیب برای SC، RTG و RMG در نظرگرفته شده است. وسایل جابه‌جاکننده برای هر جابه‌جایی می‌بایستی حداقل دو حرکت پیوسته و مداوم رفت و برگشت را اجرا کنند.

علاوه بر پارامترهای هزینه‌ای بیان شده در این تحقیق، یک پارامتر دیگر با عنوان هزینه بر هر کانتینر، CPC، که نشان دهنده کارآیی هزینه یک سامانه در مقایسه با سایر سامانه‌ها است نیز در این جداول گنجانده شده است. CPC از تقسیم هزینه کل (TC) یک سامانه بر عملکرد سالیانه (C2) پایانه‌های کانتینری به‌دست می‌آید.

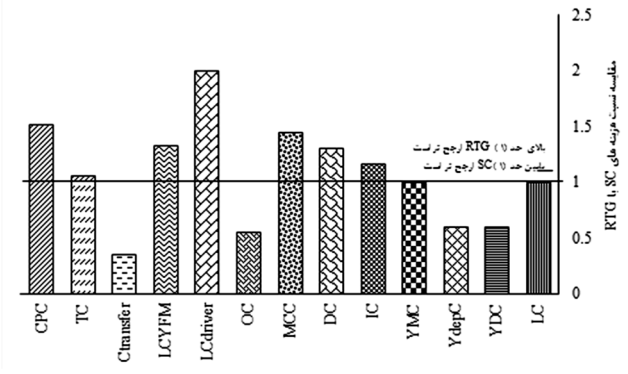
۶-۱. مقایسه هزینه و تحلیل حساسیت با توجه به میزان `R`

ارقام شاخص مقایسه هزینه (R) برای پارامترهای مختلف در ستون‌های دوم، سوم و چهارم جدول ۱ محاسبه و به صورت خلاصه درج شده است. عوامل هزینه‌ای در این جدول نشان می‌دهد که از دیدگاه سیاست اجرا و حفظ حداقل هزینه، سامانه SC بر سامانه RTG نیمه اتوماتیک ارجحیت دارد، زیرا سامانه SC رقم پایین‌تر از (R<1) `R` را برای عوامل هزینه‌ای نظیر `$C_{transfer}$`، `YDC`، `$Y_{dep}C$`، `OC` ارائه می‌دهد. در مواردی که میزان `R` برابر یک است،`R= 1`، هیچ گونه برتری در بین سامانه‌ها وجود نخواهد داشت. در حالت R>1 مانند `MCC`، `CPC`، `$LC_{driver}$`، `IC`، `DC`، `TC` سامانه SC هیچ‌گونه مزیتی بر سامانه RTG ندارد. سامانه SC زمانی بر سامانه RMG اتوماتیک برتری خواهد داشت که پارامترهای هزینه‌ای نظیر `OC`، `YDC`، `$C_{transfer}$`، `$Y_{dep}C$` میزان `R` پایین‌تر از یک را نشان دهند. با این وجود شاخص مقایسه نشان می‌دهد که برای سایر پارامترهای هزینه نظیر `IC`، `DC`، `MCC`، `TC`، `$LC_{YFM}$`، `CPC`، `$LC_{driver}$` به جز `LC` و`YMC` سامانه RMG بر سامانه SC برتری خواهد داشت. این شاخص همچنین نشان می‌دهد که در اکثر پارامترهای هزینه‌ای به استثنای `YDC`، `$C_{transfer}$` و `$Y_{dep}C$` سایر پارامترها نسبت هزینه پایین‌تری را نشان می‌دهند که بیانگر برتری سامانه RMG اتوماتیک بر سامانه RTG نیمه اتوماتیک است. در پارامترهای هزینه‌ای `LC` و `YMC`هیچ‌گونه مزیتی در بین سامانه‌ها وجود ندارد.

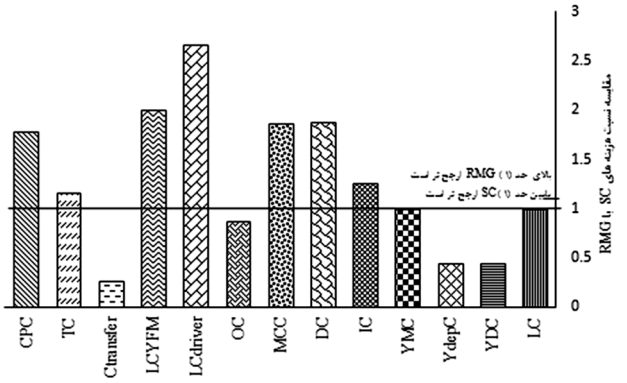
جدول ۱: شاخص مقایسه‌ای هزینه (پوند)

پارامتر هزینه	$R_{RMG/RTG}$	$R_{SC/RMG}$	$R_{SC/RTG}$
LC	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
YDC	۱/۳۶۸	۰/۴۴۲	۰/۶۰۵
$Y_{dep}C$	۱/۳۶۸	۰/۴۴۲	۰/۶۰۵
YMC	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
IC	۰/۹۲۲	۱/۲۶۰	۱/۱۶۲
DC	۱/۶۹۴	۱/۸۸۴	۱/۳۰۷
MCC	۰/۷۷۷	۱/۸۷۰	۱/۴۵۲
OC	۰/۶۴۳	۰/۸۷۱	۰/۵۶۰
LC_{driver}	۰/۷۵۰	۲/۶۶۷	۲/۰۰۰
LC_{YFM}	۰/۶۶۷	۲/۰۰۰	۱/۳۳۳
$C_{transfer}$	۱/۳۳۹	۰/۲۶۱	۰/۳۵۰
TC	۰/۹۱۲	۱/۱۶۸	۱/۰۶۵
CPC	۰/۸۵۱	۱/۷۸۹	۱/۵۲۳

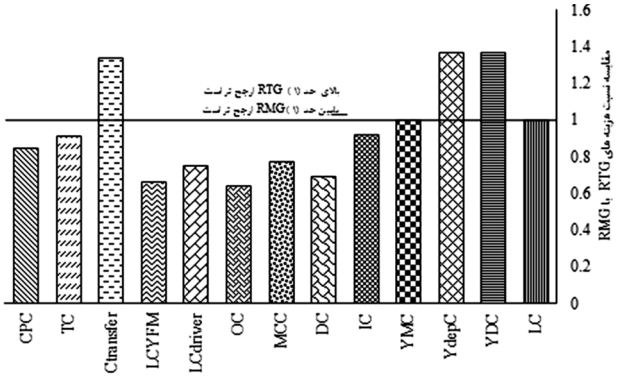
برای درک بهتر موضوع نتایج این ستون در شکل‌های ۲، ۳ و۴ نشان داده شده است. خط افقی کشیده شده در نقطه ۱= `R` سطح نامتمایزی را به نمایش می‌گذارد که در آن سایر سامانه‌ها ترجیح داده می‌شوند.



شکل ۲: زمینه‌های ارجحیت سامانه SC بر RTG



شکل ۳: زمینه‌های ارجحیت سامانه SC بر RMG



شکل ۴: زمینه‌های ارجحیت سامانه RMG بر RTG

۲-۶. مقایسه هزینه و تحلیل حساسیت با توجه به میزان `VIF`

ارقام شاخص مقایسه هزینه `R` که در جدول ۲ درج شده است، برای محاسبه `VIF` مورد استفاده قرار می‌گیرد. مثال زیر نحوه محاسبه میزان عوامل شدت متغیر را نشان می‌دهد که بیانگر برتری سامانه SC بر سامانه RTG نیمه اتوماتیک در پارامترهای هزینه‌ای مختلف است. باید توجه داشت که هزینه اولیه تجهیزات کانتینری `IC` پارامتر هزینه‌ای متمایزی با دیگر پارامترها است که توسط اپراتور بندر انتخاب شده است.

پس میزان `VIF` برای سامانه SC در مقایسه با سامانه RTG با توجه به هزینه سرمایه‌گذاری سالیانه هر دو سامانه محاسبه گردیده که با میزان `R` $R_{SC/RTG}$ = ۱/۱۶۲ به‌دست آمده از این جدول نشان داده شده است:

$$VIF_{SC/RTG}=\frac{۱۹۲۰۰۷۱\times ۱/۱۶۲}{۱۶۵۲۷۲۹-۱۹۲۰۰۷۱}\approx -۸/۳۴۶$$

مقدار `VIF` برای سامانه RMG در مقایسه با سامانه RTG زمانی که $R_{RMG/RTG}$ = ۰/۷۵۰ باشد با توجه به `LCdriver` به صورت زیر خواهد بود :

$$VIF_{RMG/RTG}=\frac{۶۷۵۰۰۰\times ۰/۷۵۰}{۹۰۰۰۰۰-۶۷۵۰۰۰}\approx ۲/۲۵۰$$

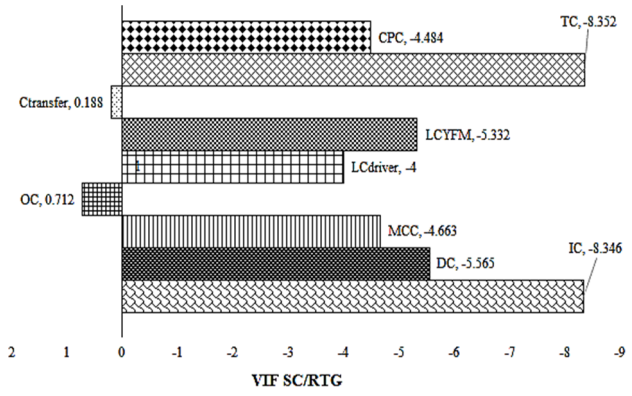
ارقام `VIF` برای سامانه SC در مقایسه با RTG نیمه اتوماتیک، سامانه SC در مقایسه با RMG اتوماتیک و RMG اتوماتیک در مقایسه با RTG نیمه اتوماتیک محاسبه گردیده است و در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: عامل شدت متغیر

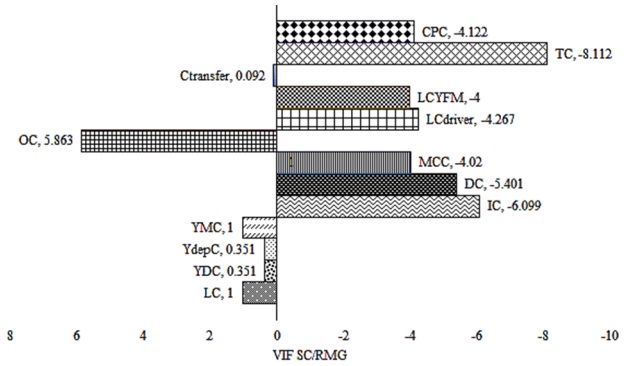
پارامترهای هزینه	$VIF_{SC/RTG}$	$VIF_{SC/RMG}$	$VIF_{RMG/RTG}$
LC	-	-	-
YDC	۰/۹۲۸	۰/۳۵۱	-۵/۰۸۱
$Y_{dep}C$	۰/۹۲۸	۰/۳۵۱	-۵/۰۸۱
YMC	-	-	-
IC	-۸/۳۴۶	-۶/۰۹۹	۹/۸۵۹
DC	-۵/۵۶۵	-۵/۴۰۱	۱/۵۷۳
MCC	-۴/۶۶۳	-۴/۰۲۰	۲/۷۰۳
OC	۰/۷۱۲	۵/۸۶۳	۱/۱۵۸
LC_{driver}	-۴/۰۰۰	-۴/۲۶۷	۲/۲۵۰
LC_{YFM}	-۵/۳۳۲	-۴/۰۰۰	۱/۳۳۴
$C_{transfer}$	۰/۱۸۸	۰/۰۹۲	-۵/۲۸۵
TC	-۸/۳۵۲	-۸/۱۱۲	۹/۴۵۱
CPC	-۴/۴۸۴	-۴/۱۲۲	۵/۱۰۶

در جدول ۲ ارقام `VIF` سیستم‌های مذکور مشابه ارقام `R` محاسبه شده است. در ستون دوم جدول وضعیت $VIF_{SC/RTG}$ که در آن سیستم SC با توجه به رقم `R` و پارامترهای هزینه‌ای مختلف بر سامانه RTG نیمه اتوماتیک ارجحیت دارد گواه این مطلب است که پارامترهای هزینه‌ای برای سامانه SC نظیر `IC`، `MCC`، LC_{YFM}`، $LC_{driver}$`، `TC`، `DC` و `CPC` حداقل و منفی را برای `VIF` به دنبال خواهد داشت. این ارقام بیانگر این است که سامانه RTG نیمه اتوماتیک بر سامانه SC ترجیح داده می‌شود. در مقابل، عوامل هزینه‌ای `OC`، $Y_{dep}C$`، `YDC` و $C_{transfer}$` ارقام مثبتی را نشان می‌دهد که ارجحیت و ارزش `VIF`سامانه SC را در مقایسه با سامانه RTG نشان می‌دهد. شکل ۵ حالت مذکور را نشان می‌دهد که در آن سامانه SC به مقدار `VIF` مثبت و مناسبی برای برتری و یا حتی برابری با مقدار سامانه `VIF`، RTG نرسیده است، بدین معنی که در حالت کلی سامانه RTG بر سامانه SC ارجحیت دارد.

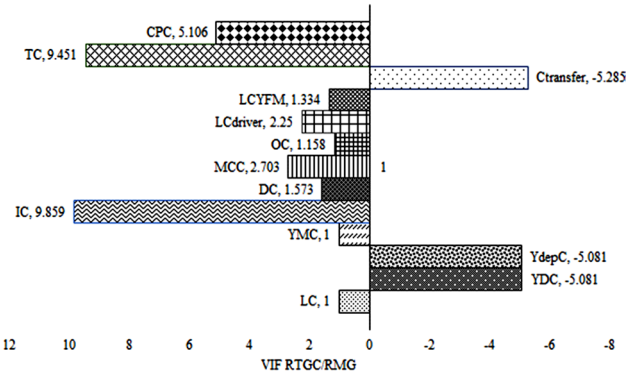
در سومین ستون جدول ۲ و مثال متناظر آن در شکل ۶ نشان داده شده است که `OC` بیشترین میزان مثبت `VIF` را برای سامانه SC در مقایسه با سامانه RMG اتوماتیک ارائه می‌دهد.



شکل ۵: مقایسه مقادیر $VIF_{SC/RTG}$



شکل ۶: مقایسه مقادیر $VIF_{SC/RMG}$



شکل ۷: مقایسه مقادیر $VIF_{RMG/RTG}$

اگرچه هزینه‌های `$Y_{dep}C$`، `YDC` و `$C_{transfer}$` نیز ارقام مثبت کمی را ارائه می‌دهند، اما مجموع ارقام مثبت پارامترهای مذکور با `VIF`منفی کل پارامترهای `MCC`، `DC`، `IC`، `TC`، `$LC_{driver}$`، `$LC_{YFM}$` و `CPC` برابر نیست. این امر، در کل، ارجحیت سامانه RMG اتوماتیک بر سامانه SC را در این مورد خاص نشان می‌دهد. بر اساس محاسبات فوق، در ستون چهار جدول ۲ و نمودار به‌دست آمده در شکل ۷، بدیهی است که سامانه RMG اتوماتیک در `$LC_{YFM}$`، `MCC`، `$LC_{driver}$`، `CPC`، `IC`، `TC`، `DC` و `OC` با توجه به ارجحیت RMG اتوماتیک در مقایسه با سامانه عملیاتی RTG نیمه اتوماتیک رقم `VIF`مثبت بالایی را به دنبال خواهد داشت.

۷. بحث و نتیجه‌گیری

این تحقیق شیوه جدیدی برای محاسبه هزینه‌ها در طراحی و برآورد میزان ظرفیت پایانه‌های کانتینری ارایه داده است. بررسی و تحلیل نمونه‌های عینی نشان داده است که اندازه محوطه کانتینری، مجموع کانتینرهای محوطه، نوع، تعداد و اندازه جرثقیل‌ها، نوع ناوگان به‌کار رفته برای جابه‌جایی کانتینرها و پارامترهای هزینه‌ای مربوط به خرید و نگهداری جرثقیل‌ها نقش اساسی در تعیین هزینه‌ی کل و هزینه تمام شده بر هر کانتینر در محوطه کانتینری ایفا می‌کنند. تحلیل حساسیت پیشنهاد شده در این تحقیق نشان داد که پارامترهای هزینه‌ای نظیر هزینه جابه‌جایی، عملیات، توسعه و استهلاک محوطه کانتینری می‌تواند ارجحیت و محبوبیت سامانه SC را در مقایسه با سامانه RTG نیمه اتوماتیک افزایش دهد. با این وجود بررسی‌ها و تحلیل‌ها نشان داد که پارامترهای هزینه‌ای نظیر هزینه اولیه سرمایه‌گذاری در تجهیزات محوطه کانتینری، استهلاک تجهیزات، هزینه نیروی انسانی و نگهداری تجهیزات شامل هزینه تمام شده بر هر کانتینر در پایانه‌ها ملاک انتخاب سامانه RTG نیمه اتوماتیک در مقایسه با سامانه SC می‌گردد.

این تحقیق همچنین نشان داد که پارامترهای هزینه‌ای نظیر هزینه‌های مربوط به عملیات محوطه کانتینری، توسعه، استهلاک و جابه‌جایی تنها عواملی هستند که سرانجام می‌توانند باعث انتخاب سامانه SC در مقایسه با سامانه RMG اتوماتیک گردند. این روش مقایسه متقابل نشان داد که اکثر هزینه‌های ارزیابی شده نظیر هزینه اولیه سرمایه‌گذاری، هزینه تمام شده بر هر کانتینر، استهلاک جرثقیل، هزینه نگهداری و عملیات جرثقیل‌های محوطه، هزینه‌های مربوط به اداره عملیات و دستمزد نیروهای محوطه بدون هیچ شکی باعث انتخاب سامانه RMG اتوماتیک در مقایسه با سامانه RTG نیمه اتوماتیک می‌گردد. بر اساس تحلیل حساسیت به‌کار رفته در این تحقیق، سامانه RTG نیمه اتوماتیک ممکن است بر

سامانه RMG ترجیح داده شود، زیرا نتایج تحلیل پارامترهای مربوطه هزینه استهلاک، توسعه و جابه‌جایی نسبتاً کمتری را نشان می‌دهند. این مقاله مدلی را ارائه نموده که در تحلیل، ارزیابی و اندازه‌گیری کارآیی و اثربخشی هزینه‌ای سامانه‌های عملیاتی محوطه کانتینری می‌تواند به‌خوبی مورد استفاده قرار گیرد. مدل پیشنهادی توابع هزینه‌ای مختلف به‌کار گرفته شده در پایانه‌های کانتینری مدرن را مورد توجه قرار داده است. اندازه، عملکرد سالیانه، شیوه‌ی عملیات، اندازه و توانمندی پشته‌سازی و چیدمان عمودی تجهیزات محوطه‌های کانتینری همراه با پارامترهای هزینه‌ای نظیر هزینه خرید زمین، هزینه‌های مربوط به توسعه، نگهداری، عملیات، استهلاک، خرید تجهیزات محوطه کانتینری و وسایل جابه‌جایی و هزینه‌های نیروی انسانی که توسط فنآوری‌های اتوماسیون تحت تأثیر قرار می‌گیرند تماما در این مدل مورد توجه قرار گرفته‌اند. همچنین ابزار تحلیل حساسیت جدیدی با استفاده از شاخص مقایسه‌ای هزینه و عوامل شدت هزینه برای تحلیل اثربخشی هزینه‌ها در پایانه‌های کانتینری پیشنهاد شده است. مدل مبتنی بر هزینه ارائه شده، اصل و اساس قابل قبولی را جهت مقایسه سامانه‌های عملیاتی محوطه کانتینری فراهم می‌آورد که هدف اصلی این مقاله است. بررسی مطالعه موردی و تحلیل حساسیت نشان داد که سامانه‌های RMG اتوماتیک در مقایسه با سامانه‌های SC و RTG هزینه‌ی پایین‌تری برای هر کانتینر، هزینه کمتری را برای خرید جرثقیل و نگهداری و در مجموع هزینه کلی پایین‌تری را برای محوطه کانتینری به دنبال دارد. مدل ارائه شده ماهیتی عمومی داشته و می‌تواند به عنوان یک ابزار جهت مقایسه اثربخشی و کارآیی هزینه تجهیزات در سایر صنایع نیز استفاده شود. جهت ارزیابی سود حاصله از خرید و بهره‌گیری از تجهیزات و سایر سامانه‌های عملیاتی لازم است تحقیقات بیشتری انجام شود. باید توجه داشت که مدیران و اپراتورهای سایر صنایع نیز همانند مدیران صنایع بندری ممکن است از افشای آمار هزینه‌های خود خودداری نمایند، چرا که هزینه‌های بالا شاید نشان‌دهنده عدم کارآیی و کاهش بهره‌وری سامانه‌های آنان باشد.

منابع

Agerschou, H., 2004. Planning and design of ports and marine terminals, Thomas Telford Publication, London, 274-286pp.

Avery, P., 1999. The future of cargo handling technology, Cargo Systems, IIR Publication Ltd. UK, 38-44pp.

Chu, C.; Huang, W., 2003. container handling capacity study on container yards, Journal of Maritime Research, 14: 29-44pp.

Constantinides, M., 1990. Economic approach to equipment selection and replacement, UNCTAD Monographs on Port Management, UNCTAD/Ship/494, (Issue 8), UN, New York, 2-19pp.

Containerisation International Ports., 1990-2005. Journal of containerisation international, Series From January 1990 to December 2005.

Containerisation International Market Analysis., 1996. In-terminal handling equipment, Journal of Containerisation International, April.

Guthrie, G.; Lemon, L., 2004. Mathematics of interest rates and finance, Upper Saddle River, New Jersy, Prentice Hall.

Hatzitheodoroue, G., 1983. Cost comparison of container handling terminals. Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering, 109(1): 54-62pp.

Hee, K.; Wijbrands, R., 1988. Decision-support systems for container terminal planning. International Journal of Operation Research, 34: 262-272pp.

Kap, H.; Hong, B., 1998. The optimal determination of the space requirement and the number of transfer cranes for import containers. Journal of Computer Industry Engineering, 35(3 and 4): 427-430pp.

Kiani, M., 2007. The impact of automation on the efficiency and cost effectiveness of the quayside and container yard cranes and the selection decision for the yard operating systems, PhD Thesis, School of Engineering, Liverpool John Moores University, UK.

Kim, K.; Kim, H., 2002. The optimal sizing of the storage space and handling facilities for import containers, Journal of Transportation Research -B, 36: 821-835pp.

Netherlands, Delft University of Technology, 577-84pp.

Steiner, H., 1992. Engineering economic principles, mcGraw- hill, New York, USA, 317-490pp.

Thuesen, G.; Fabrycky, W., 1993. Engineering economy, prentice hall, englewood cliffs, Newjercy, USA, 273-486pp.

UNCTAD, Port Development., 1985. A handbook for planners in developing countries, UNCTAD, TD/B/C. 4/175/rev.1, UN, New York, 17-33pp.

UNCTAD, Review of Maritime Transport., 1990-2005. UNCTAD Publications, Series From 1990 to 2005.

UNCTAD, How to Prepare Your Business Plan., 2002. UNCTAD/ITE/IIA/5, UN, New York and Geneva, 139-182pp.

UNCTAD, Review of Maritime Transport., 2005. UN, New York and Geneva, 19-55pp.

Vis, I.; Harika, I., 2004. Comparison of vehicle types at an automated container terminal. Journal of Operation Research Spectrum, 26: (Issue 1), 117-143pp.

Watanabe, I., 2001. Container terminal planning, a theoretical approach, world cargo publishing, Leatherhead, UK.

Yang, C.; Choi, Y.; Ha, T., 2004. Simulation based performance evaluation of transport vehicles at automated container terminals. Journal of Operation Research Spectrum, 26: (Issue 2), 149-170pp.

Zhow, H.; Chan, K.; Wu, C., 2001. Operation Cost and Benefit Comparison of Private Container Terminal Operator. Journal of Maritime Research, 11: 65-95pp.

Kim, K.; Kim, H., 1998. The optimal determination of the space requirement and the number of transfer cranes for import containers, Journal of Computer and Industrial Engineering, 35: 427-430pp.

Liu, C.; Jula, H.; Ioannou, P., 2002. Design, simulation and evaluation of automated container terminals, Journal of IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, No. 3, (Issue 1), 12-26pp.

Nahavandi, N., 1996. Design model for loading, unloading and storage of container ports, M.Sc. Dissertation, Amir Kabir University of Technology, Iran, 55-70pp.

Nam, K.; Ha, W., 2001. Evaluation of Handling Systems for Container Terminals. Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering, 127: (Issue 3), 171-175pp.

Petering, Matthew E.H., 2011. Decision support for yard capacity, fleet composition, truck substitutability, and scalability issues at seaport marine container terminal, transportation research part E: Logistics and Transportation Review, Volume 47, Issue 1, January 2011. 85-103pp.

Saanen, Y.; Verbraeck, A., 2006. The design and assessment of next generation automated container terminals, Proceedings of European Simulation Symposium, Winter, Delft, The Netherlands.

Saanen, Y.; Meel, J.; Verbraek, A., 2003. The design and assessment of next generation automated container terminals, technical report, presented in the section system engineering seminar, 26-29th October,