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

مدل ریاضی تخصیص بهینه اسکله به کشتی ها و فضای ذخیره سازی به کانتینرها

محمد بزازی، کارشناس ارشد مهندسی صنایع
نیما صفائی، دکترای مهندسی صنایع
Mohammad.bazzazi@gmail.com

Archive of SID

چکیده

در این مقاله حل مساله تخصیص بهینه اسکله‌ها به کشتی‌ها به منظور پهلوگیری و به طور هم زمان تخصیص بهینه کانتینرهای هر کشتی به بلوک‌های ذخیره سازی در یک ترمینال کانتینری نمونه با استفاده از یک مدل ریاضی، توسعه داده شده است.

ذخیره سازی موقت کانتینرها در بنادر تجاری، یکی از گام‌های اساسی در فرایند حمل و نقل دریایی را تشکیل می‌دهد که دارای دو بخش عمده شامل حمل بار از شناور به محل ذخیره سازی و برعکس می‌باشد که در اصطلاح، به آن عملیات ورود و خروج کانتینر گفته می‌شود. در این مقاله یک رویکرد دو فازی ارایه گردیده است که در فاز اول کل کانتینرهای ورودی به بلوک‌های ذخیره سازی تخصیص بهینه می‌یابد. در ادامه با استفاده از خروجی‌های به دست آمده در این فاز و با هدف کاهش کل هزینه حمل و نقل داخلی در یک ترمینال کانتینری، اسکله بهینه به کشتی‌های ورودی جهت پهلوگیری تخصیص داده شده است و به طور هم زمان مکان کانتینرهای هر کشتی در

www.SID.ir

بلوک‌های ذخیره سازی تعیین می‌گردد. با توجه به نتایج ارایه شده، کاهش هزینه حمـل و نقل نهایی حاکی از کارایی مدل توسعه داده شده می‌باشد.

واژگان کلیدی: اسکله،کانتینر، ترمینال کانتینری، بلوک، کشتی.

Archive of SID

www.SID.ir

۱. مقدمه

امروزه صنعت حمل و نقل دریایی[1] از اهمیت به سزایی در چرخه اقتصادی کشورها برخوردار است چرا که حدود ۹۰٪ صادرات و واردات و به طور کلی حمل و نقل کالا در دنیا از طریق دریا صورت می‌گیرد. در این بین، ترمینال‌های کانتینری[2] یا همان بنادر تجاری به عنوان حلقه‌ی اتصال دریا و خشکی از اهمیتی دو چندان برخوردار هستند. از این رو؛ سطح کیفیت خدمات در بنادر جهت تسریع در فرآیند حمل و نقل، پاسخ سریع به مشتریان و هم چنین جذب مشتریان بیشتر بسیار حایز اهمیت می‌باشد. سطح کیفیت خدمات با نرخ بهره وری ترمینالی کانتینری (یا به اختصار ترمینال) رابطه بسیار تنگاتنگی دارد. بهره وری یک ترمینال به عوامل متعددی همچون زمان پهلوگیری شناور از لحظه ورود به بندر؛ زمان تخلیه بار از شناور، زمان انتقال بار به فضاهای ذخیره سازی موقت یا به اصطلاح بلوک‌ها[3]، زمان تخصیص و چیدمان بار در بلوک‌ها، زمان ترخیص بار، به/از، گمرک، زمان بارگیری شناور و غیره بستگی دارد که هر یک در جای خود قابل بحث و بررسی است. در این میان، تعیین مکان بهینه هر کانتینر ورودی یا خروجی در بین بلوک‌های موجود جهت افزایش سرعت ذخیره و بازیابی آن‌ها، یکی از مسایل تاثیرگذار بر بهره وری ترمینال‌ها است که به عنوان مساله تخصیص فضای ذخیره[4] یا به اختصار SSA در ادبیات شناخته می‌شود. مساله مشابه مساله تخصیص تعمیم یافته[5] است با این تفاوت که تخصیص وابسته به نوع و زمان ورود و خروج کانتینرها علاوه بر

1. Marine Transportation
2. Terminal Container
3. Block
4. Storage Space Allocation
5. Generalized Assignment Problem

Archive of SID

www.SID.ir

ظرفیت بلوک‌ها می‌باشد. در شرایط واقعی؛ نوع کانتینرها به نوع و شرایط بار داخل آن‌ها بستگی دارد. به عنوان نمونه، اقلام غذایی و فاسدپذیر به طور عمده در کانتینرهای یخچالی نگهداری می‌شوند و باید در مکانی ذخیره شوند که امکان دسترسی به انرژی برق وجود دارد. هم چنین مواد دارویی یا شیمیایی باید در مکان‌هایی ذخیره شوند که در تماس مستقیم با نور آفتاب یا حرارت نباشند. در نتیجه هر نوع کانتینری نمی‌تواند در هر بلوک ذخیره شود. هم چنین نوع کانتینر می‌تواند برحسب ابعاد یا وضعیت پر یا خالی بودن آن نیز متفاوت باشد. به عنوان نمونه، از آنجایی که در بلوک‌ها، کانتینرها بر روی یکدیگر (به صورت چند طبقه‌ای) ذخیره می‌شوند، نمی‌توان یک کانتینر پر را بروی یک کانتینر خالی قرار داد. بنابراین با توجه به شرایط واقعی و نوع و اهمیت ترمینال، مساله SSA می‌تواند بیش از پیش پیچیده‌تر گردد. ترمینال‌ها از تجهیزات و ادوات بارگیری و جابه جایی متنوعی جهت انجام فرآیند حمل و نقل کانتینرها استفاده می‌کنند. برخی از این تجهیزات عبارتند از جرثقیل‌های ساحلی[۶] یا QC برای تخلیه و بارگیری کانتینرها از/به شناور، بارکش‌ها[۷] برای جابه جایی کانتینرها به/از بلوک‌ها و جرثقیل‌های محوطه[۸] یا به اصطلاح صفافه‌ها همانند RTGC[۹] ها برای چیدمان کانتینرها در بلوک. تعداد، نوع عملکرد، زمان‌بندی و قابلیت این تجهیزات نیز به شدت در بهره‌وری یک ترمینال تاثیرگذار می‌باشد.

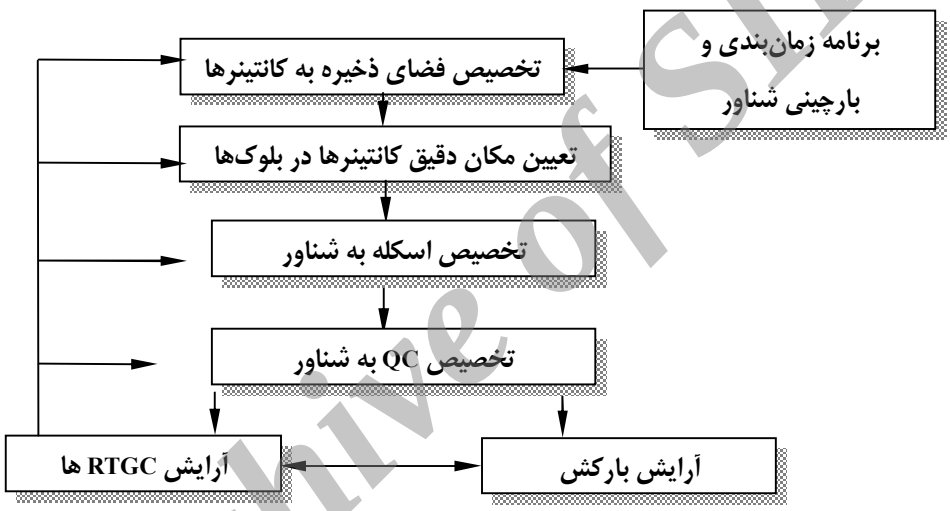
به طور کلی، تصمیم‌های مختلفی در عملیات ترمینال دخیل می‌باشند که بر یکدیگر تاثیر متقابل دارند. به عنوان مثال، تصمیم‌های مربوط به ذخیره کانتینرها در بلوک‌ها به

6. Quay Crane
7. Trailer
8. Yard Crane
9. Rubber Tried Gantry Crane

Archive of SID

www.SID.ir

طور مستقیم بر بارکاری تحمیل شده بر RTGC ها و فواصل طی شده توسط بارکش و هم‌چنین به طور غیرمستقیم بر کارایی QC ها تاثیر می‌گذارد. البته کلیه این تصمیم‌ها متاثر از تخصیص اسکله به شناورها می‌باشد. به دلیل پیچیدگی تصمیم گیری در شرایط فوق، حصول تصمیم بهینه امری به تقریب غیرممکن می‌باشد. لذا یک رویکرد سلسله مراتبی به صورت شکل (۱) در ادبیات ارایه شده است که فرآیند تصمیم گیری در ترمینال را به چند بخش کوچک‌تر تقسیم می‌نماید, به طوری که خروجی یک بخش به عنوان ورودی برای بخش دیگر خواهد بود.



شکل ۱. ساختار سلسله مراتبی تصمیم‌های عملیاتی در ترمینال کانتینری بندر شهید رجایی

در این تحقیق، از یک رویکرد دو مرحله‌ای برای حل مساله SSR ارایه شده در [۱] استفاده خواهد شد. رویکرد پیشنهادی در مرحله اول با دریافت اطلاعات مربوطه به

Archive of SID

www.SID.ir

زمان ورود و خروج کانتینرها، محموله کشتی‌های ورودی به اسکله را با هدف تعدیل حجم کاری بین بلوک‌ها و تسریع در زمان ذخیره و بازیابی آن‌ها، به بلوک‌ها تخصیص داده و در مرحله دوم مکان بهینه پهلوگیری کشتی‌ها را با توجه به فاصله فیزیکی بین اسکله‌ها و بلوک‌ها و نیز با در نظر گرفتن تخصیص انجام شده در فاز اول، تعیین می‌کند. به عبارت دیگر اقدام بر روی ۲، ۳ و ۴ سلسله عملیات تصمیم گیری در ترمینال کانتینری بندر شهید رجایی که در شکل ۱ ارایه شده است یکی از نقاط قوت این تحقیق، علاوه بر در نظر گرفتن نوع کانتینر در مساله SSA، در فاز دوم مساله به طور هم زمان به کشتی‌ها اسکله بهینه تخصیص داده می‌شود که تاکنون در ادبیات موضوع در نظر گرفته نشده است. تحقیق جاری برمبنای شرایط واقعی موجود در بندر شهید رجایی ایران توسعه داده شده است.

۲. پیشینه تحقیق

تاکنون تحقیقات زیادی بروی عملیات گوناگون در داخل ترمینال کانتینری همانند زمان‌بندی جرثقیل‌ها [۲]، تخصیص اسکله [۳]، برنامه‌ریزی اسکله و بهینه سازی منابع [۴]، مدیریت منابع انسانی [۵]، برنامه‌ریزی بارگیری و چیدمان بار[10] در شناور [۶] و زمان‌بندی عملیات دریافت و تحویل کانتینرها توسط صفافه‌ها [۷] انجام شده و رویکردهای مختلفی از جمله رویکردهای مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی، شبیه سازی، هوش مصنوعی و غیره ارایه شده است. در حالت کلی، کنترل کلیه عملیات ترمینال به صورت هم زمان امکان‌پذیر نبوده و امری بسیاری پیچیده می‌باشد. خلاصه‌ای از عملیات

10. Stowage and Load Planning

Archive of SID

www.SID.ir

مختلف ترمینال کانتینری را می‌توان در مرجع [۸] یافت. مساله SSA برای اولین بار به صورت مجزا توسط زانگ[11] و همکاران مورد بررسی قرار گرفت [۱]. آنان درخت تصمیم گیری ارایه شده در شکل (۱) را مبنای فرآیند تصمیم گیری در ترمینال قرار داده و سپس مساله SSA و تخصیص شناور به اسکله را به عنوان دو تصمیم متوالی و وابسته به یکدیگر فرموله نمودند. به طوری که خروجی مسأله SSA به عنوان ورودی مساله تخصیص شناور به اسکله در نظر گرفته می‌شود. همان طوری که پیش‌تر نیز اشاره شد، در این تحقیق برای اولین بار نوع کانتینر در مساله SSA در نظر گرفته خواهد شد.

تاکنون تعداد معدودی تحقیقات در زمینه کاربرد رویکردهای فرا ابتکاری به خصوص GA برای حل مسایل ترمینال کانتینری ارایه شده است. آمیا[12] و همکاران از GA برای حل یک مدل غیرخطی تخصیص اسکله به شناور در یک ترمینال چند منظوره استفاده کردند [۹]. کرد[13] و همکاران برای حل مساله تخصیص سرویس که مربوط به جابه جایی مجدد کانتینرها در بلوک‌ها می‌باشد، از GA استفاده کردند [۱۰]. لی[14] و همکاران برای زمان بندی جرثقیل‌های ساحلی از GA استفاده کردند [۱۱]. هم چنین آمیا و همکاران حل مساله برنامه‌ریزی بارگیری و چیدمان بار در شناور را با GA مورد بررسی قرار دادند [۶]. تاکنون حل مساله SSA و به طور هم زمان تخصیص اسکله به شناور با توجه به محدودیت‌های در نظر گرفته شده توسط هیچ رویکردی بررسی نشده است که از نکات برجسته تحقیق جاری به شمار می‌آید.

11. Zhang
12. Imia
13. Cordeau
14. Lee

Archive of SID

www.SID.ir

۳. تعریف مساله

یک ترمینال کانتینری یا به طور خلاصه «ترمینال» به مکانی در بندر گفته می‌شود که شناورهای حاوی کانتینر در آنجا لنگر انداخته و کانتینرهای ورودی[۱۵] (خالی یا پر از محموله[۱۶]) را تحویل داده و کانتینرهای خروجی[۱۷] را بارگیری می‌نمایند. جهت سنجش عملکرد ترمینال و ظرفیت شناورها از یک واحد استاندارد بنام TEU[۱۸] استفاده می‌شود که معادل یک کانتینر ۲۰ فوتی است. هر کانتینر ۴۰ فوتی و یا بزرگتر، ۲ واحد TEU محسوب می‌گردد. ترمینال‌ها دارای محوطه یا مکان‌های خاصی جهت ذخیره موقت کانتینرها می‌باشند که به اصطلاح به آن‌ها بلوک گفته می‌شود. بنام بلوک[۱۹] تقسیم می‌شود. هر بلوک یک ناحیه مستطیل شکل با چند سطر یا راهرو[۲۰] می‌باشد به طوری که یک راه رو جهت عبور و مرور بارکش و سایر سطرها جهت ذخیره سازی کانتینر استفاده می‌شود. یک کانتینر خروجی(O/B)، کانتینری است که توسط مشتری به ترمینال آورده شده تا به بندر دیگری فرستاده شود. یک کانتینر ورودی (I/B) عبارت از کانتینری است که توسط یک شناور برای یک مشتری خاص از بندر دیگری آورده می‌شود. بر طبق پژوهش‌های گذشته کانتینرهای تخصیص داده شده به محوطه را از لحاظ وضعیت عملیاتی به چهار دسته می‌توان تقسیم کرد [۱].

کانتینرهای ورودی برروی شناورها که هنوز تخلیه و به محوطه آورده نشده اند

15. Inbound-Import
16. Cargo
17. Outbound-Export
18. Twenty-foot Equivalent Unit
19. Block
20. Lane-Slot

Archive of SID

www.SID.ir

.(C_1)

کانتینرهای ورودی که از قبل به محوطه تخصیص داده شده و منتظرمشتریان خود می‌باشند (C_2).

کانتینرهای خروجی که هنوز به محوطه آورده نشده اند (C_3).

کانتینرهای خروجی که از قبل به محوطه تخصیص داده شده و منتظر بارگیری شناورها می‌باشند (C_4).

از آن جایی که زمان رسیدن کانتینرهای C_1 و ترخیص کانتینرهای C_4 به طور مستقیم بستگی به زمان‌بندی شناورها دارد، مبدأ زمانی برای جابه جایی این کانتینرها توسط جرثقیل از ابتدا شناخته شده می‌باشد. از طرف دیگر، تنها برطبق داده‌های گذشته می‌توان توزیع مبدأ زمانی جهت جابه جایی کانتینرهای C_2 و C_3 را به دست آورد. در نتیجه، مبدا زمانی جهت جابه جایی کانتینرهای C_2 و C_3 پارامترهای نادقیق و مبهم می‌باشند، ولی یک بازه زمانی به طور تقریب نامحدود برای انبارکردن کانتینرهای C_2 و C_3 در محوطه وجود دارد به طوری که چند روز بعد از رسیدن و چند روز قبل از ترخیص شناورهای مربوطه، فرصت برای انبار کردن وجود دارد. دو هدف عمده عبارتند از: ۱- کمینه سازی متوسط زمانی پهلوگیری شناورها و ۲- حداکثرسازی متوسط خروجی QC ها.

بر طبق شرایط خاص بندر شهید رجایی، ۸۰ درصد کالاهای تخلیه و بارگیری شده مربوط به واردات می‌باشد (یعنی کالاهای تخلیه شده). بدین معنی که توزیع کانتینرها در داخل بلوک‌ها و نیز تخصیص کشتی‌ها به اسکله‌ها بر مبنای کانتینرهای ورودی می‌باشد. به این صورت که پس از تخصیص کانتینرها که قرار است تخلیه شوند، و نیز تخصیص کشتی به اسکله، کانتینرهای خروجی که قرار است بر روی کشتی مورد نظر

Archive of SID

www.SID.ir

بارگیری شوند، در نزدیک‌ترین مکانی که کشتی پهلو گرفته است به صورت یک جا انبـار می‌شوند. لذا تخصیص کانتینرهای خروجی به بلوک‌های مختلف معنی نخواهـد داشـت. به عبارت دیگر کانتینرهای متعلق به یک کشتی که قرار است از بندر خارج شـوند (چـه آن‌هایی که از قبل ذخیره گشته و منتظر خروج می‌باشـند و چـه آن‌هـایی کـه در حـال رسیدن به محوطه می‌باشند) همگی در یک مکان مشخص ذخیره مـی‌گردنـد. از ایـن رو تمامی تصمیم گیری‌های مربوط به امر تخصیص کشتی به اسکله کـه در فـاز دوم اتخـاذ خواهد شد بر مبنای *مکان تخصیص کانتینرهای ورودی می‌باشد*. بنابراین در مرحلـه اول فقط کانتینرهای نوع C_1 و C_2 در نظر گرفته خواهند شد. چرا که ۸۰ درصد محمولـه‌هـا در بندر مذکور مربوط به کانتینرهای ورودی است.

به دلیل این که عملیات ترمینال کانتینری بندر شهید رجایی برحسب سـاعت بـرای ۳۶۳ روز سال برنامه‌ریزی می‌شود، لذا ناگزیر به استفاده از یک افـق برنامـه‌ریـزی ثابـت می‌باشیم. در رویکرد افق پوششی[21] در شروع هر افق برنامه ریزی، برای یک بـازه زمـانی متشکل از تعداد ثابتی دوره در آینده برنامه‌ریزی می‌نماییم. سپس در اواسط افق جـاری یک برنامه‌ریزی جدید براساس آخرین اطلاعات به دست آمده برای افق بعدی انجام داده و این رویکرد به طور پیوسته ادامه می‌یابد.

یک دوره برنامه‌ریزی کوتاه مستلزم حجم محاسبات کمتری می‌باشد، ولی توان پیش بینی درمورد آینده را کاهش خواهد داد. در حـالی کـه یـک دوره برنامـه‌ریـزی طـولانی ممکن است به لحاظ محاسباتی غیرعملی بوده و حاوی اطلاعات نادقیق بیـشتری باشـد. جهت رفع این نقص و با بررسی تاثیر افق برنامه‌ریزی به روی پیچیـدگی مـساله، شـدنی بودن محاسبات و صحت داده‌ها و شرایط خاص مورد مطالعات مـا افـق برنامـه‌ریـزی بـر

21. Rolling-horizon Approach

Archive of SID

www.SID.ir

مبنای ورود یک کشتی قرار داده می‌شود. این رویکرد به این دلیل در نظر گرفته شده است که تا زمانی که کشتی جدید وارد بندر نشده است، خللی در برنامه پیشین ارایه شده ایجاد نخواهد شد اما به محض ورود کشتی جدید، در صورت برنامه‌ریزی مجدد می‌توان قطعیت بیشتری را برای برنامه ارایه شده متصور بود.

حداکثر زمان اقامت کانتینرهای ورودی به تقریب برابر حداکثر دوره ترخیص آن‌ها می‌باشد که از طول هر دوره برنامه‌ریزی تجاوز خواهد کرد. در نتیجه تعدادی کانتینر وجود دارند که زمان ترخیص آن‌ها در لحظه برنامه‌ریزی مشخص نبوده و یا زمان ترخیص آن‌ها از طول افق برنامه‌ریزی تجاوز می‌کند. از آن جایی که حجم کاری چنین کانتینرهایی در طول افق برنامه‌ریزی رخ نمی‌دهد، در نتیجه به طور مستقیم در مساله SSR دخالت داده نخواهند شد. برای در نظر گرفتن تاثیر کانتینرهای مذکور در مساله، آن‌ها را به نسبت ظرفیت‌های ذخیره در دسترس بین بلوک‌ها توزیع می‌کنیم به گونه‌ای که تراکم بلوک‌ها تعدیل گردد. چنین روش تقریبی، یک تاثیر نهایی بروی عملکرد رویکرد پیشنهادی دارد، به این ترتیب که اکثر کانتینرهای یک شناور در طول افق برنامه‌ریزی (داخل سه روز - قبل و بعد از پهلوگیری شناور) جمع و توزیع می‌شوند و اکثر کانتینرها تحت اطلاعات نادقیق تخصیص می‌یابند چون تنها یک روز از افق برنامه‌ریزی سپری شده است. با توجه به مطالب ذکر شده، به طور کلی هر کانتینر در این تحقیق دارای چهار خصوصیت مختلف به صورت زیر می‌باشد:

۱- بلوکی که کانتینر باید به آن تخصیص یابد.

۲- زمان تخلیه (دوره حضور کانتینر در بلوک).

۳- زمان ترخیص کانتینر (دوره خروج کانتنر از بلوک).

۴- نوع کانتینر.

Archive of SID

www.SID.ir

۳-۱- مرحله اول: تخصیص کانتینرها به بلوک‌ها

هدف از مرحله اول، تخصیص کانتینرها به بلوک‌ها با هدف کمینه‌سازی زمان پهلوگیری شناورها از طریق تعدیل حجم کاری RTGC ها و QC ها می‌باشد. در حالت کلی، اگر محموله یک شناور در بلوک‌های مختلف پراکنده شده باشد، RTGC ها در بلوک‌های مذکور نقش پردازشگرهای موازی برای آن شناور را ایفا می‌کنند. در نتیجه زمان جدا شدن شناور از اسکله (زمان تکمیل کار) برابر حداکثر زمان پردازش بین جرثقیل‌های مذکور می‌باشد. در نتیجه تعدیل حجم کاری پردازشگرهای موازی فوق موجب کمینه‌سازی زمان تکمیل شناور مورد نظر به عنوان یک Job خواهد شد. نتایج مشابه بر روی مساله آرایش RTGC ها نشان می‌دهد که تعدیل حجم کاری بلوک‌ها موجب کاهش تاخیر در جابه جایی کانتینرها می‌شود (***Zhang et al., 2002***). مرحله اول مبتنی بر فرض‌های زیر می‌باشد:

۱. منابع کافی (جرثقیل‌های محوطه) جهت جابه جایی حجم کاری وجود دارد.

۲. حرکت جرثقیل‌های محوطه در بین بلوک‌ها وجود ندارد.

۳. اندازه کلیه جرثقیل‌های محوطه یکسان می‌باشد.

۴. حجم کاری برحسب تعداد کانتینر سنجیده می‌شود.

۴. برای سازگاری، ظرفیت فضای انبار نیز برحسب کانتینر سنجیده می‌شود.

۶. کانتینرها فقط شامل کانتینرهای ورودی و کانتینرهای ورودی که از قبل تخصیص داده شده اند می‌باشند.

۷. اندازه کانتینرها یکسان درنظرگرفته می‌شود (از لحاظ عملی کانتینرهای با اندازه‌های گوناگون با یکدیگر در یک بلوک قرار داده نمی‌شوند و اندازه کانتینرهای موجود در یک بلوک به ندرت متغیر می‌باشد).

Archive of SID

www.SID.ir

۸. کانتینرها دارای انواع مختلفی می‌باشند و هر نوع کانتینر به الزام باید در بلوک‌های مخصوص به ذخیره سازی آن نوع کانتینر ذخیره گردد.

توسعه مدل ریاضی فاز اول

پارامترهای ورودی:

B : تعداد کل بلوک‌ها در محوطه.

T : تعداد کل دوره‌های برنامه‌ریزی در یک افق.

R: تعداد کل انواع کانتینرها.

C_i : ظرفیت ذخیره بلوک i ام به طوری که $i=1,2,...B$.

$\widetilde{D}_{tkr}$: تعداد کل انتظاری کانتینرهای ورودی $C1$ از نوع r که در دوره t از شناورها تخلیه شده و باید در دوره $t+k$ توسط مشتریان تحویل گرفته شوند.

β_{itr} : تعداد انتظاری کانتینرهای ورودی $C1$ از نوع r که در دوره t از شناورها تخلیه و به بلوک i تخصیص داده شده‌اند (تعداد آن توسط روش توزیع نسبی تعیین می‌شود) به طوری که زمان دریافت آن‌ها توسط مشتری مشخص نبوده و یا لااقل مشتری بعد از افق جاری آن را تحویل خواهد گرفت.

$\widetilde{P}_{itr}$: تعداد کانتینرهای ورودی $C1$ از نوع r باقی مانده از دوره قبل در بلوک i که در طول دوره t توسط مشتریان تحویل گرفته خواهند شد (از بلوک i تخلیه خواهند شد).

M : یک عدد بزرگ.

η : ضریب تعدیل ظرفیت هر بلوک.

W_1 و W_2: وزن‌های مربوط به تابع هدف که توسط مدیریت تعیین می‌گردد.

Archive of SID

www.SID.ir

S_{ir} : برابر 1 است اگر کانتینر نوع r بتواند به بلوک i تخصیص یابد و 0 در غیر این صورت.

V_{ir} : موجودی اولیه بلوک i از کانتینر نوعr.

متغیرهای تصمیم

D_{itkr} : تعداد کانتینرهای ورودی C_1 نوع r با اطلاعات کامل که در بلوک i ذخیره شده به طوری که در دوره t از شناورها تخلیه شده و باید در دوره $t+k$ توسط مشتری تحویل گرفته شوند.

D_{itr} : تعداد کل کانتینرهای C_1 نوع r با اطلاعات کامل یا ناقص که در بلوک i ذخیره شده به طوری که در طول دوره t از شناورها تخلیه می‌شوند. منظور ازکانتینرهای با اطلاعات کامل، کانتینرهایی می‌باشند که از زمان تحویل گرفتن آن‌ها توسط مشتریان اطلاع دقیق در دسترس می‌باشد.

P_{itr} : تعداد کل کانتینرهای C_1 نوع r که در بلوک i ذخیره شده به طوری که در دوره t توسط مشتری تحویل گرفته می‌شوند.

V_{itr} : موجودی بلوک i از کانتینر نوع r در پایان دوره t.

با توجه به تعریف پارامترهای فوق، تابع هدف مدل پیشنهادی به صورت زیر تعریف می‌گردد.

$$\min Z = \sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{R}\left(w_1\left[\max_{i=1}^{B}\{D_{itr}\} - \min_{i=1}^{B}\{D_{itr}\}\right] + w_2\left[\max_{i=1}^{B}\{D_{itr}+P_{itr}\} - \min_{i=1}^{B}\{D_{itr}+P_{itr}\}\right]\right) \quad (1)$$

در رابطه (۱)، D_{itr} برابر تعداد کل انتظاری کانتینرهای با اطلاعات کامل و ناقص در

Archive of SID

www.SID.ir

ارتباط با شناور است که نیاز است تا در بلوک i و در دوره t تخلیه شوند. هم چنین D_{itr} + P_{itr} برابر تعداد کل انتظاری کانتینرهایی است که باید در بلوک i و در دوره t جابه جا شوند (کانتینرهای در ارتباط با مشتری و شناور). بنابراین، رابطه (۱) در واقع عدم تعادل کانتینرهای در ارتباط با شناور به علاوه عدم تعادل تعداد کل کانتینرها در همه بلوک‌ها در هر دوره برنامه‌ریزی را نشان می‌دهد. پارامترهای w_1 و w_2 مبین وزن‌ها یا اهمیت هدف‌های مذکور می‌باشند که توسط مدیریت ترمینال تعیین می‌گردند به طوری که $w_1+ w_2 =$۱. به عبارت ساده تر زمانی که ترخیص زودتر کشتی‌ها بیشتر از تعدیل حجم کاری کل ترمینال برای مدیریت از اهمیت بیشتری برخوردار باشد، $w_2 < w_1$ خواهد بود و به عکس. لازم به ذکر است که عدم تعادل مذکور باید بر روی نوع کانتینرها به صورت جداگانه جمع بسته شود به این معنی که عدم تعادل باید مابین بلوک‌های مربوط به هر نوع کانتینر به صورت جداگانه در نظر گرفته شود. به عنوان مثال، عدم تعادل بلوک‌های مخصوص کانتینرهای معمولی و بلوک‌های مختص کانتینرهای یخچالی به صورت جداگانه محاسبه خواهد شد و عدم تعادل نهایی از مجموع آن‌ها به دست خواهد آمد. محدودیت‌های مدل پیشنهادی عباتند از:

الف : محدودیت‌های حفظ جریان کانتینر

$$t=1,2,..,T,\ K=1,2,..,T\text{-}t\ ,\ r=1,2,..,R \qquad \sum_{i=1}^{B} D_{itkr} = \tilde{D}_{tkr} \qquad (۲)$$

$$i=1,2,..,B\ ,\ t=1,2,..,T\ r=1,2,..,R \qquad D_{itr} = \beta_{itr} + \sum_{k=1}^{T-k} D_{itkr} \qquad (۳)$$

محدودیت (۲) تضمین می‌کند که تعداد کل انتظاری کانتینرهای ورودی نوع C_1 با

Archive of SID

www.SID.ir

اطلاعات کامل جهت تخصیص به بلوک‌ها منتظر بمانند به طوری که $\tilde{D}_{tkr}$ برابر مجموع کانتینرهای ورودی نوع C_1 با اطلاعات کامل تخصیص یافته به همه بلوک‌ها می‌باشند. به عبارت دیگر، محدودیت فوق مربوط به کل تقاضای موجود کانتینر برای تخصیص به بلوک‌ها می‌باشد. محدودیت (۳) اطمینان می‌دهد که تعداد کل انتظاری کانتینرهای نوع C_1 و از نوع r تخصیص یافته به بلوک i درطول دوره t (D_{itr}) برابر مجموع تعداد کل کانتینرهای نوع C_1 (ورودی) با اطلاعات کامل یعنی $\sum_{k=1}^{T-k} D_{itkr}$ به علاوه تعداد کل کانتینرهای نوع C_1 با زمان ترخیص نامعلوم یعنی β_{itr} در افق برنامه‌ریزی می‌باشد.

ب : *محدودیت‌های بروی کانتینرهای نوع* C_1

$$P_{itr} = \sum (D_{i(t-k)kr}) + \tilde{P}_{itr} \qquad i=1,2,..,B \ , \ t=1,2,..,T \ , \ r=1,2,..,R$$

(۴)

برای درک بیشتر محدودیت شماره (۴) مثال زیر را در نظر آورید (برای سهولت از نوع کانتینر به طور موقت صرف نظر می‌شود):

فرض کنید P_{13} برابر است با کانتینرهایی که در دوره سوم از بلوک اول خارج می‌شوند. که این تعداد برابر است با :

- کانتینرهایی که در طول دوره برنامه‌ریزی جاری به بلوک ۱ تخصیص یافته و مقدار t+k برای آن‌ها (یعنی زمان خارج شدن کانتینر) برابر ۳ باشد، که می‌تواند در حالات زیر اتفاق افتد.
- کانتینرهایی که به بلوک ۱ تخصیص یافته و در دوره اول رسیده‌اند و ۲ دوره بعد از آن خواهند رفت. یعنی D_{112} .
- کانتینرهایی که به بلوک ۱ تخصیص یافته و در دوره دوم رسیده‌اند و ۱ دوره بعد

Archive of SID

www.SID.ir

از آن خواهند رفت. یعنی D_{121} .

لذا مقدار $D_{121}+D_{112}$ برابر کلیه حالت‌های ممکن P_{13} (در طول افق جاری برنامه‌ریزی)خواهد بود. که برابر است با $P_{13}=\sum_{k=1}^{3-1} D_{1(3-k)k}$ لذا برای تمام حالت‌ها و برای تمام بلوک‌ها خواهیم داشت: $P_{it}=\sum_{k=1}^{t-1} D_{i(t-k)k}$. از سوی دیگر تعدادی کانتینر از افق برنامه‌ریزی قبلی باقی مانده است که بر طبق برنامه در یکی از دوره‌های افق برنامه‌ریزی جاری از بلوک مفروض خارج خواهند شد که این مقدار به عنوان یک ورودی از داده‌های به دست آمده از افق قبلی به صورت $\tilde{P}_{it}$ در اختیار می‌باشد. به این ترتیب مقدار کل کانتینرهایی که در هر دوره از دوره‌های افق جاری و با در نظر گرفتن نوع کانتینر از بلوک‌های ذخیره سازی خارج خواهند شد به صورت $P_{itr}=\sum_{k=1}^{t-1} D_{i(t-k)kr}+\tilde{P}_{itr}$ به دست می‌آید.

ج- محدودیت‌های چگالی بلوک

$$V_{itr}=V_{i(t-1)r}+D_{itr}-P_{itr} \quad i=1,2,..,B\ ,\ t=1,2,..,B\ ,\ r=1,2,..,R$$

$$\text{(۵)} \qquad V_{itr}\le \eta C_i \qquad i=1,2,..,B\ ,$$

$$t=1,2,..,B\ ,\ r=1,2,..,R \qquad \text{(۶)}$$

برابر چگالی مجاز برای هر بلوک می‌باشد. محدودیت (۵) موجودی را از دوره‌ای η به طوری که به دوره دیگر، به هنگام سازی می‌نماید به نحوی که بیان می‌دارد که موجودی پایان هر دوره برابر است با موجودی ابتدای آن دوره(پایان دوره قبل) به علاوه تعداد کانتینری که در طول این دوره در بلوک مفروض ذخیره خواهد گردید منهای تعداد کانتینری که در طول این دوره از بلوک تخلیه خواهد گردید. محدودیت (۶) تضمین می‌کند که موجودی هر بلوک در هر دوره برنامه‌ریزی از سطح مجاز چگالی تجاوز نکند. لازم به ذکر است که میزان چگالی مفروض که عددی بین صفر و یک

Archive of SID

www.SID.ir

می‌باشد به این دلیل در نظر گرفته می‌شود که تعداد کانتینر ذخیره گردیده در هر بلوک، کمتر از ظرفیت کامل بلوک باشد تا فضای کافی برای حرکت جرثقیل‌های محوطه وجود داشته باشد.

$$D_{itr} \le M.S_{ir} \qquad i=1,2,..,B \ , \ t=1,2,..,B \ , \ r=1,2,..,R \qquad (۷)$$

محدودیت شماره (۷) تضمین می‌کند که هر نوع کانتینر به بلوک مخصوص خود تخصیص یابد.

۳-۲- مرحله دوم: تخصیص شناور به اسکله

بعد از حل مساله SSA و تعیین تخصیص کانتینرها به بلوک‌ها، می‌توان مکان بهینه پهلوگیری شناورها را با توجه به فاصله فیزیکی بین مکان بلوک‌ها و اسکله‌ها تعیین نمود. مساله تعیین مکان بهینه پهلوگیری شناورها، یک مساله تخصیص کلاسیک با هدف کمینه سازی کل مسافت طی شده توسط بارکش‌ها بین اسکله و محوطه بلوک‌ها می‌باشد. بنادر تجاری به طور عمده دارای چند ورودی بوده و هر ورودی شامل چند مکان پهلوگیری مجزا می‌باشد به طوری که چند شناور با طول استاندارد می‌توانند هم زمان پهلوگیری نمایند. مرحله دوم مبتنی بر فرض‌های زیر می‌باشد:

۱. فواصل بلوک‌ها از اسکله‌های پهلوگیری معین و غیر قابل تغییر است.

۲. جهت ساده سازی، طول کشتی‌ها یکسان در نظر گرفته می‌شود لذا بر مبنای آن هر کشتی می‌تواند در هر اسکله پهلو گیرد.

۳. زمان عملیات پهلوگیری کشتی‌ها صفر در نظر گرفته می‌شود. به عبارت ساده تر فرض می‌شود که هر کشتی به محض رسیدن به بندر آماده تخلیه بار خود

Archive of SID

www.SID.ir

می‌باشد.

۴. به دلیل بررسی کانتینرهای ورودی؛ به طور موقت فرض می‌شود که کشتی‌هایی که به این قسمت بندر مراجعه می‌کنند همگی دارای بار پر و کانتینرهای ورودی می‌باشند؛ لذا از کشتی‌هایی که ماموریت حمل بارهای خروجی (صادراتی) را دارند صرف نظر می‌شود.

در این قسمت، مدل ریاضی مربوط به فاز دوم مساله ارایه خواهد شد به تعیین مکان (اسکله) بهینه برای پهلوگیری کشتی‌ها، به همراه تعیین مکان دقیق کانتینرهای هر کشتی در بلوک‌ها مربوط می‌شود:

فرض‌های مربوط به فاز دوم

۱- فواصل بلوک‌ها از اسکله‌های پهلوگیری ثابت و غیر قابل تغییر است.

۲- جهت ساده سازی، طول کشتی‌ها یکسان در نظر گرفته می‌شود لذا بر مبنای آن هر کشتی می‌تواند در هر اسکله پهلو گیرد.

۳- زمان عملیات پهلوگیری کشتی‌ها، در نظر گرفته می‌شود به عبارت ساده‌تر فرض می‌شود که هر کشتی به محض رسیدن به بندر آماده تخلیه بار خود می‌باشد.

۴- به دلیل بررسی کانتینرهای ورودی به طور موقت فرض می‌شود که کشتی‌هایی که به این قسمت بندر مراجعه می‌کنند همگی دارای بار پر و کانتینرهای ورودی می‌باشند، لذا از کشتی‌هایی که ماموریت حمل بارهای خروجی(صادراتی) را دارند صرف نظر می‌گردد.

Archive of SID

www.SID.ir

نوتاسیون

پارامترهای ورودی

sh : تعداد کشتی‌های ورودی به بندر در طول دوره برنامه ریزی.

p :تعداد کل مکان‌های قابل پهلوگیری (اسکله).

d_{iv} : فاصله بلوک i ام تا مکان پهلوگیری v ام.

S_t : تعداد کل شناورهای پهلوگرفته در ترمینال در پریود t.

D_{itkr} : متغیر خروجی فاز اول که به عنوان یک ورودی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

D_{itr}: متغیر خروجی فاز اول که به عنوان یک ورودی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

N_{jtkr}: تعداد کانتینر نوع r متعلق به کشتی j با اطلاعات کامل که در دوره t وارد ترمینال شده و در دوره $t+k$ توسط مشتریان تحویل گرفته خواهند شد.

N_{jtr}: تعداد کانتینر نوع r متعلق به کشتی j با اطلاعات ناقص که در دوره t وارد ترمینال شده به نحوی که زمان دریافت آن‌ها توسط مشتریان مشخص نمی‌باشد و یا لااقل مشتریان بعد از افق جاری آن‌ها را تحویل خواهند گرفت.

متغیرهای تصمیم

X_{ijtkr} : تعداد کانتینرهای ورودی C_1 از نوع r متعلق به کشتی j با اطلاعات کامل که در بلوک $\boldsymbol{i}$ ذخیره شده (باید ذخیره گردند) به طوری که در دوره t از شناورها تخلیه شده و باید در دوره $t+k$ توسط مشتری تحویل گرفته شوند.

X_{ijtr} : تعداد کانتینرهای C_1 از نوع r متعلق به کشتی j با اطلاعات ناقص که در بلوک i ذخیره شده (باید ذخیره گردند) به طوری که در طول دوره t از شناورها تخلیه می‌شوند.

Archive of SID

www.SID.ir

y_{vj} : برابر یک است اگر کشتی j به مکان v تخصیص یابد. و صفر است در این حالت.

تابع هدف فاز ۲

$$\min Z = \sum_{i=1}^{B}\sum_{j=1}^{sh}\sum_{v=1}^{p}\sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{T}\sum_{r=1}^{R}(d_{iv}x_{ijtkr}\,y_{vj} + d_{iv}x_{ijtr}\,y_{vj}) \qquad (۸)$$

تابع هدف (۷) کل مسافت طی شده توسط بارکش‌های داخلی را با در نظر گرفتن مکان تخصیص داده شده به کشتی را کمینه می‌کند. دو قسمت مدل نیز مربوط به کانتینرهای تخصیص یافته هر کشتی با اطلاعات کامل و ناقص می‌باشد.

این مدل نیز غیر خطی می‌باشد لذا جهت خطی سازی آن با استفاده از تکنیک مربوطه تابع هدف به صورت زیر تبدیل می‌گردد:

محدودیت‌های مدل

St :

$$\sum_{j=\backslash}^{sh} x_{ijtkr} = D_{itkr} \quad \forall i, j, t, k \mid k \le T - t, r \qquad (۹)$$

$$\forall i, t, r \sum_{j=\backslash}^{sh} x_{ijtr} = D_{itkr} - \sum_{k=\backslash}^{T} D_{itkr} \qquad (۱۰)$$

محدودیت شماره (۹) محدودیت تقاضا می‌باشد. به عبارت دیگر این محدودیت بیان می‌دارد که مجموعه کانتینرهای تخصیص یافته با اطلاعات کامل متعلق به تمامی کشتی‌ها نباید متفاوت از مقدار تخصیص متعادل فاز اول باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

محدودیت شماره (۱۰) مفهوم مشابهی را برای کانتینرهای با اطلاعات ناقص بیان می‌دارد.

*مفهوم اطلاعات کامل و ناقص در فاز اول مساله توضیخ داده شد.

$$\sum_{i=1}^{B} x_{ijtkr} = N_{jtkr} \qquad \forall i,t,k,r \qquad (۱۱)$$

$$\sum_{i=1}^{B} x_{ijtr} = N_{itr} \qquad \forall i,t,r \qquad (۱۲)$$

محدودیت شماره (۱۱) مبین محدودیت مقدار تخلیه شناور می‌باشد. به عبارت دیگر این محدودیت بیان می‌دارد که مجموعه کانتینرهای (با اطلاعات کامل) تخصیص یافته به تمامی بلوک‌ها باید برابر مجموعه کانتینرهای موجود در کشتی‌ها باشد.

محدودیت شماره (۱۲) مفهوم مشابهی را برای کانتینرهای با اطلاعات ناقص بیان می‌دارد.

$$x_{ijtr} \le ms_{ir} \qquad \forall i,j,t,k,r \qquad (۱۳)$$

$$x_{ijtkr} \le ms_{ir} \qquad \forall i,j,t,r \qquad (۱۴)$$

محدودیت‌های شماره (۱۳) و (۱۴) محدودیت‌های مربوط به نوع کانتینر می‌باشند که در فاز اول توضیح داده شد.

$$\sum_{v=1}^{P} y_{vj} \le 1 \quad \forall i \qquad (۱۵)$$

$$\sum_{j=1}^{sh} y_{vj} \le 1 \quad \forall v \qquad (۱۶)$$

محدودیت شماره (۱۵) بیان می‌دارد که هر کشتی فقط به یک مکان (اسکله) باید تخصیص یابد.

Archive of SID

www.SID.ir

محدودیت شماره (۱۶) بیان می‌دارد که هر مکان (اسکله) فقط به یک کشتی باید تخصیص یابد.

$$y_{vj} \in (0,1) \qquad (۱۷)$$

متغیر y_{vj} برابر یک است اگر کشتی j

به مکان v تخصیص یابد. و صفر است در غیر این صورت.

۴. نتایج محاسباتی

این بخش، صحت عملکرد مدل پیشنهادی را مورد بررسی قرار می‌دهد. مسایل نمونه بر طبق اطلاعات واقعی به دست آمده از بندر شهید رجایی ایجاد شده‌اند. کلیه مسایل نمونه توسط یک سیستم پنتیوم با ۵۱۲ مگابایت RAM حل شده‌اند. مدل‌های ارایه شده در مرحله‌های اول و دوم توسط نرم افزار LINGO 8.0 حل شده‌اند.

۴-۱- ورودی‌های اولیه

جهت درک بهتر مساله، فرض کنید که یک کشتی از افق برنامه‌ریزی قبلی در بندر حضور دارد که عملیات تخلیه بر روی آن هم چنان ادامه دارد تا مابقی کانتینرهای آن تخلیه گردند (کشتیA). کشتی دیگری نیز وارد حوضچه بندر شده و آماده پهلوگیری می‌باشد (فرض کنید زمان بهلوگیری به طور تقریب صفر است) و عملیات تخلیه بر روی آن از ابتدای دوره اول آغاز می‌گردد (کشتیB). کشتی سوم نیز وارد منطقه بندری شده است اما تا زمان پهلوگیری ۳ ساعت برابر یک دوره برنامه‌ریزی زمان نیاز دارد. لذا عملیات تخلیه بر روی آن از ابتدای دوره دوم شروع خواهد گردید(کشتیC). توجه کنید

Archive of SID

www.SID.ir

که در شرایط واقعی پهلوگیری در بندر شهید رجایی حدود ۴ ساعت زمان می‌برد، اما این موضوع خللی بر کلیت مساله وارد نمی‌سازد چرا که می‌توان زمان فوق را به صورت زمان در دسترس در مدل در نظر گرفت که به طور موقت به صورت پیش فرض حذف شده است. از سوی دیگر فرض می‌کنیم که ۴ بلوک ذخیره سازی و ۴ مکان پهلوگیری (اسکله) در اختیار می‌باشد که کشتی A از افق برنامه‌ریزی قبلی در اسکله دوم پهلو گرفته است. همان گونه که شرح داده شد، هدف مساله در مرحله اول تخصیص کل کانتینرها به بلوک‌های ذخیره‌سازی می‌باشد به نحوی که حجم کاری کل کمینه گردد و هدف مرحله دوم تخصیص کشتی‌های ورودی به اسکله‌های قابل پهلوگیری به همراه تعیین مکان دقیق کانتینرهای هر کشتی در بلوک‌های ذخیره‌سازی می‌باشد. جدول‌های زیر اطلاعات اولیه مربوط به هر کشتی را ارایه می‌دهند که شامل دوره زمان ورود کانتینر (t)، زمان خروج کانتینر (k)، و نوع کانتینر (r) می‌باشد. لازم به ذکر است که کانتینرهای هر نوع که در دوره‌های مربوطه وارد می‌شوند همان گونه که قبلا توضیح داده شد، دارای دو وضعیت باشند: کانتینرهایی که زمان خروج آن‌ها (زمان تحویل گرفتن توسط مشتریان) مشخص می‌باشد و کانتینرهایی که از زمان خروج آن‌ها اطلاعی در اختیار نیست. لذا اطلاعات مربوط به این مهم به صورت دو ستون جداگانه a و b (ستون a مربوط به کانتینرهایی هستند که از زمان خروج آن‌ها اطلاع داریم و ستون b مربوط به کانتینرهایی که از زمان خروج آن‌ها اطلاعی نداریم)، برای هر نوع کانتینر و در هر دوره برنامه‌ریزی در جدول‌های ۱ تا ۳ نشان داده شده است. مقادیر مربوط به متغیرهای ورودی مساله نمونه، در جدول شماره ۵ آمده است که این مقادیر (مقادیر مندرج در جدول ۵) از اطلاعات اولیه موجود در جداول ۱ تا ۳ به دست آمده است. به عبارت دیگر جدول‌های ۱،۲،۳و۵ نحوه محاسبه متغیرهای اولیه مساله را از اطلاعات

Archive of SID

www.SID.ir

خام به دست آمده از کشتی‌های فرضی، نشان می‌دهد.

جهت درک بهتر مطلب، توضیح زیر ارایه می‌گردد:

همان گونه که ذکر شد مقادیر مربوط به ستون b مربوط به کانتینرهایی می‌باشد که از زمان خروج آن‌ها اطلاعی در دست نیست. به عنوان مثال به مقادیر مربوط به ستون‌های b مربوط به جداول ۲ و ۳، که زیر آن‌ها خط کشیده شده است، توجه نمایید. مجموع آن‌ها برابر 100=0+100 می‌باشد. این وضعیت به معنی آن است که مجموع تعداد کانتینرهای دو کشتی B و C (کشتی‌هایی که در طول افق برنامه‌ریزی مورد بررسی، وارد بندر شده یا خواهند شد) که در طول دوره اول t_1 تخلیه شده و از نوع اول r_1 می‌باشند و هم چنین از زمان دقیق خروج آن‌ها نیز اطلاعی نداریم (نوعb) برابر ۱۰۰ عدد می‌باشند. این داده ورودی (۱۰۰ واحد) به نحو زیر در درون متغیر β_{itr} قرار خواهد گرفت :

از سوی دیگر در توضیح متغیر ورودیβ_{itr} ذکر گردید که تعداد آن توسط روش توزیع نسبی تعیین می‌شود.

معنی این وضعیت آن است که تعداد کل کانتینرهای نوع r که در طول دوره t تخلیه می‌شوند به طور نسبی در بین تمامی بلوک‌ها توزیع می‌شوند. از این رو تعداد ۱۰۰ واحد به دست آمده در بالا به طور نسبی (مساوی) در بین تمامی بلوک‌های مخصوص کانتینرهای نوع r_1 ۱ توزیع می‌گردد. با توجه به این نکته که تنها بلوک‌های ۲ و ۳ و ۴ مجاز به ذخیره‌سازی کانتینرهای نوع ۱ می‌باشند، لذا مقادیرβ_{211} و β_{311} و β_{411} به ترتیب برابر ۳۵ و ۳۰ و ۳۵ (مقادیری که در جدول ۵ زیر آن‌ها خط کشیده شده است) در نظر گرفته می‌شوند.

توضیح تکمیلی این که، مقادیر کانتینرهای نوع b مربوط به کشتی A در محاسبه

Archive of SID

www.SID.ir

مذکور در نظر گرفته نمی‌شوند، چون بر طبق فرض در نظر گرفته شده، کشتی A از افق برنامه‌ریزی قبلی در بندر باقی‌مانده است. از آن جایی که بر طبق توضیحات اولیه، مساله ما به صورت یک افق برنامه‌ریزی دوره‌ای اجرا می‌شود، فرض می‌گردد که مقادیر مربوط به این کشتی در برنامه‌ریزی افق قبلی در نظر گرفته شده است اما از آن جایی که در مورد خروج یا عدم خروج آن‌ها اطلاعاتی در دست نمی‌باشد لذا نمی‌توانیم که آن‌ها را به طور کلی در نظر نگیریم از این رو این مقادیر در درون متغیر V_{ir} گنجانده می‌شوند. به عبارت دیگر این مقادیر را به عنوان بخشی از موجودی اول دوره در نظر می‌گیریم.

این نحوه محاسبه هر چند که تقریبی و نسبی می‌باشد ولی خللی در منطق تابع هدف مساله ایجاد نمی‌کند چرا که هدف نهایی تعدیل بهینه می‌باشد که این مهم در این راستا به تابع هدف مساله کمک نیز می‌نماید.

مقادیر متغیر $\tilde{D}_{tkr}$ را نیز می‌توان با توجه به تعریف ارایه شده برای این متغیر به راحتی از طریق جدول‌های ۱ تا ۳ به دست آورد.

مقادیر مربوط به متغیر $\tilde{P}_{itr}$ از اطلاعات مربوط به افق برنامه‌ریزی قبلی به دست می‌آید که در این جا، با توجه به داده‌های نمونه به دست آمده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۱: اطلاعات مربوط به زمان تخلیه کانتینرها از کشتی و بلوک‌های ذخیره سازی

مربوط به کشتی A

(کشتی باقی مانده از افق قبل)

t_4				t_3				T_2				t_1				
r_2		r_1		r_2		r_1		r_2		r_1		r_2		r_1		
b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	A	b	a	b	a	
							20				50				50	K_1
						20				*50*	50			*50*	50	K_2
											50				50	K_3
											40				40	K_4

جدول ۲: اطلاعات مربوط به زمان تخلیه کانتینرها از کشتی و بلوک‌های ذخیره سازی

مربوط به کشتیB

(کشتی آماده پهلوگیری)

t_4				T_3				T_2				t_1				
r_2		r_1		r_2		r_1		r_2		r_1		r_2		r_1		
b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	
			60				50				50				50	K_1
			60			50	50			50	50			<u>100</u>	50	K_2
			60				50				50				40	K_3
			60				40				40					K_4

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۳: اطلاعات مربوط به زمان تخلیه کانتینرها از کشتی و بلوک‌های ذخیره سازی

مربوط به کشتی C

(کشتی که در ابتدای دوره دوم آماده پهلوگیری و شروع عملیات می‌باشد)

T_4				t_3				t_2				t_1				
r_2		r_1		r_2		r_1		r_2		r_1		r_2		r_1		
B	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	
10	60		۱۰		50	30	30			40	50			۰		K_1
	60				50						50					K_2
	60				50						50					K_3
	50				30						50					K_4

جدول۴: مقادیر متغیر S_{ir} نوع کانتینرهایی که می‌تواند در هر بلوک ذخیره شوند

	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	I_6	i_7	I_8
r_1	0	0	1	1	1	1	1	1
r_2	1	1	0	0	0	0	0	0

جدول۵ تمامی مقادیر مربوط به متغیر D_{itkr} یعنی خروجی اصلی مدل فاز اول را ارایه می‌دهد. همان گونه که شرح داده شد از این خروجی به عنوان یکی از ورودی‌های اصلی مدل فاز دوم استفاده می‌گردد. چرا که در فاز اول هدف تخصیص کلیه کانتینرهای رسیده در یک افق برنامه‌ریزی به کلیه بلوک‌های ذخیره سازی با هدف تعدیل حجم کاری است. به عبارت دیگر در فاز اول تمامی کانتینرها به صورت متعادل بین بلوک‌ها توزیع می‌گردند و در فاز دوم با استفاده از این تخصیص کلی داده شده و با توجه به این نکته که هر کشتی چه تعداد از کانتینرهای تخصیص داده شده را در اختیار

Archive of SID

www.SID.ir

دارد و با هدف کمینه ساختن کل هزینه حمل و نقل، به هر کشتی اسکله بهینه تخصیص یافته و به طور هم زمان کانتینرهای هر کشتی نیز به بلوک‌های ذخیره‌سازی تخصیص می‌یابد.

جهت درک بهتر مساله، در جدول۵ کلیه مقادیر موجود در سطر و ستون‌های مربوط به دوره اول t_1 را در نظر بگیرید. ملاحظه می‌شود که بیشتر کانتینرهای تخصیص یافته به بلوک‌های ۶، ۷، ۸ و کانتینرهای نوع اولی می‌باشند(r_1)، که در طول دوره اول تخلیه گشته(t_1) و یک دوره بعد از آن از محوطه خارج می‌شوند (k_1). به عبارت دیگر :

$$D_{8111}=15 \quad , \quad D_{7111}=15 \quad , \quad D_{6111}=15$$

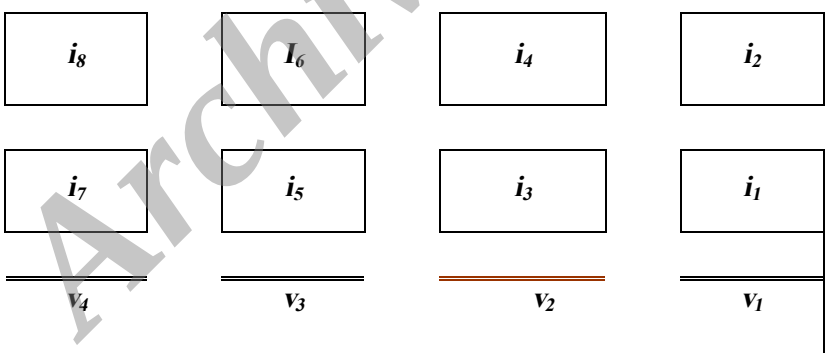
حال فرض کنید بیشتر این ۴۵ کانتینر متعلق به کشتی C می‌باشد لذا بدیهی است که تخصیص اسکله به کشتی‌ها به نحوی باید صورت گیرد که تا حد ممکن کشتی C به بلوک‌های ۶، ۷ و ۸ نزدیک باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵: مقادیر متغیر D_{itkr} یکی از خروجی اصلی فاز اول که به عنوان یکی از ورودی اصلی فازدوم در نظر گرفته می‌شود

		i_1		i_2		i_3		I_4		i_5		i_6		I_7		i_8	
		r_1	r_2	R_1	r_2	r_1	r_2	r_1	r_2	r_1	r_2	r_1	r_2	r_1	R_2	r_1	r_2
t_1	k_1	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	15	0	15	0	15	0
	k_2	0	0	0	0	9	0	24	0	0	0	0	0	8	0	9	0
	k_3	0	0	0	0	9	0	0	0	23	0	8	0	0	0	0	0
	k_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_2	k_1	0	0	0	0	16	0	1	0	25	0	۲۵	0	17	0	16	0
	k_2	0	0	0	0	13	0	37	0	۱۳	0	13	0	12	0	12	0
	k_3	0	0	0	0	26	0	11	0	2	0	۱۱	0	12	0	38	0
	k_4	0	0	0	0	11	0	14	0	23	0	۱۷	0	25	0	0	0
t_3	k_1	0	35	0	15	۱۵	0	37	0	0	0	۱۶	0	24	0	25	0
	k_2	0	50	0	0	0	0	0	0	37	0	0	0	13	0	0	0
	k_3	0	0	0	50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0
	k_4	0	15	0	15	20	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0
t_4	k_1	0	60	0	0	۵۰	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0
	k_2	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	40	0
	k_3	0	5	0	55	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0
	k_4	0	50	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	20	0	0	0



شکل ۱: نحوه چیدمان بلوک‌ها و مکان‌های پهلوگیری

Archive of SID

www.SID.ir

۴-۲- مقادیر متغیرهای ورودی مربوط به فاز دوم

شکل ۱ نشان دهنده نحوه چیدمان بلوک‌ها و مکان‌های پهلوگیری در ترمینال کانتینری بندر شهید رجایی است (قسمتی از ترمینال) مکان $V_۲$ مربوط به کشتی است که از افق برنامه‌ریزی قبلی هنوز در حال تخلیه بار می‌باشد. لذا پر واضح است که به مکان دوم نمی‌توان کشتی تخصیص داد.

جدول ۶ میزان فاصله اقلیدسی مرکز هر اسکله تا مرکز هر بلوک ذخیره سازی را نشان می‌دهد.

جدول ۶: مقادیر مربوط به متغیر d_{iv}

d_{iv}	i_1	I_2	I_3	i_4	I_5	I_6	i_7	I_8
V_1	20m	50 m	50 m	80m	80m	110m	110m	140 m
V_2	50 m	80 m	20 m	50m	50m	80m	80m	110 m
V_3	80 m	110 m	50 m	80m	20m	50m	50m	80 m
V_4	110 m	140 m	80 m	110m	50m	80m	20m	50 m

یکی دیگر از ورودی‌های اصلی مساله در فاز دوم میزان و نوع کانتینرهای مربوط به هر کشتی می‌باشد که به طور قطع تخصیص باید بر مبنای نوع و تعداد آن‌ها صورت گیرد، که این مقادیر در جدول‌ها ۷ و ۸ نمایان است

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۷: مقادیر مربوط به متغیر N_{jtkr}

J_1								
	t_1		t_2		t_3		t_4	
	r_1	r_2	r_1	r_2	r_1	r_2	R_1	r_2
k_1	۵۰	0	۵۰	0	۵۰	0	۶۰	0
k_2	۵۰	0	۵۰	0	۵۰	0	۶۰	0
k_3	۴۰	0	۵۰	0	۵۰	0	۶۰	0
k_4	0	10	۴۰	0	۴۰	0	۶۰	0
J_2								
	t_1		t_2		t_3		t_4	
	r_1	r_2	r_1	r_2	r_1	r_2	R_1	r_2
k_1	0	۰	۵۰	0	۳۰	۵۰	10	۶۰
k_2	0	۰	۵۰	0	۰	۵۰	۰	۶۰
k_3	0	۰	۵۰	0	0	۵۰	0	۶۰
k_4	0	۰	۵۰	0	0	۳۰	0	۵۰

جدول ۸ نیز میزان کانتینرهای مربوط بـه هرکـشتی را کـه از زمـان تخلیـه آن‌هـا از محوطه اطلاع دقیق در دست نیست نشان می‌دهد که این مقـادیر نیـز بـه عنـوان یکـی دیگر از ورودی‌های اصلی مساله در نظر گرفته می‌شوند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۸: مقادیر مربوط به N_{jtr}

N_{jtr}	j_1		J_2	
	r_1	r_2	r_1	r_2
t_1	100	0	0	0
t_2	50	0	40	0
t_3	50	0	30	0
t_4	0	0	0	10

۴-۳- نتایج محاسباتی نهایی

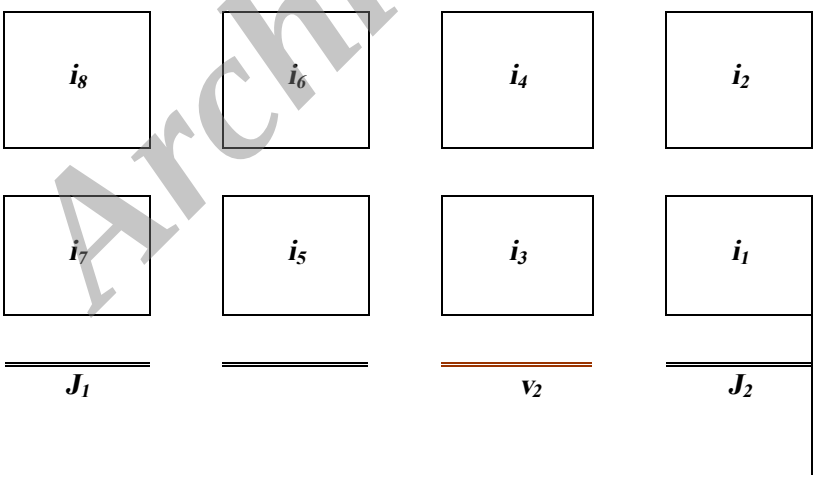
مقادیر متغیرهای خروجی نهایی مساله را که شامل تعیین مکان دقیق کانتینرهای هر کشتی و نیز اسکله بهینه جهت پهلوگیری کشتی می‌باشد را نشان می‌دهد.

خروجی‌های اصلی مساله

OFV=294510

$X_{1242}=10$ $X_{3221}=40$ $X_{3231}=30$ $X_{5111}=100$ $X_{5121}=50$
$X_{5131}=50$

$Y_{12}=1$ $Y_{41}=1$



Archive of SID

www.SID.ir

همان گونه که ملاحظه می‌شود مکان دقیق تمامی کانتینرهای دو کشتی رسیده به بندر در بلوک‌ها تعیین گردیده است و مکان۱ به کشتی دوم (کشتی C) و مکان ۴ به کشتی اول (کشتی B) تخصیص یافته است. این تخصیص به طور تقریبی نیز قابل پیش بینی بود. چراکه با توجه به جداول ۲ و ۳ ملاحظه می‌گردد که بیشتر بار کشتی C شامل کانتینرهای نوع ۲ می‌باشد و از سوی دیگر با توجه به جدول ۴ کانتینرهای نوع دوم را می‌توان تنها در بلوک‌های اول و دوم (i_1,i_2) ذخیره نمود. لذا جهت کاهش مسافت حمل و نقل طبیعی است که باید کشتی C به مکانی تخصیص یابد که حتی المقدور به بلوک‌های ۱ و ۲ نزدیک باشد. از این رو ملاحظه می‌شود که مدل مذکور تخصیص منطقی‌ای را ارایه داده است.

۴-۴- تحلیل نتایج

حال جهت تحلیل عملکرد مدل، توضیح‌های زیر ارایه می‌شوند :

بر اساس سیاست مدیریت بندر شهید رجایی میزان هزینه حمل و نقل در نظر گرفته شده به ازای هر متر $0/02 می‌باشد. که شامل هزینه سوخت مصرفی بارکش‌های داخلی و نیز کلیه هزینه‌های استهلاک است.

لذا میزان کل هزینه حمل و نقل بر اساس تخصیص داده شده برابر است با:

OFV*0.02=294510*0/02=5890$

از سوی دیگر با توجه به تخصیص واقعی داده شده بر مبنای ورودی‌های یکسان مساله که در بندر شهید رجایی در افق نمونه مورد بررسی صورت گرفته است، نتایج زیر حاصل شده بود:

کشتی ۲ به مکان (اسکله) اول و کشتی ۱ به مکان (اسکله) سوم و میزان تابع هدف

Archive of SID

www.SID.ir

بر اساس تخصیص‌های داده شده برابر: OFV=316110 بـه دسـت آمـده بـود. ملاحظـه می‌گردد که تفاوت اصلی مابین تخصیص بهینه و تخـصیص تقریبـی ارایـه شـده توسـط بندر، انتخاب مکان ۳ به جای مکان ۴ برای کشتی اول می‌باشد. اما همـین اخـتلاف بـه ظاهر کوچک تابع هدف را به میزان ۲۱۶۰۰ واحد بهبود داده است. به عبارت دیگر مدل ارایه شده $21600*0/02=432 در یک افق برنامه‌ریزی کاهش هزینه دربرداشته اسـت و از آن جایی که هر افق برنامه‌ریزی شامل ۱۲ ساعت می‌باشد لـذا میـزان کـاهش هزینـه سالانه برابر است با :

432*2*363=313632$

لازم به توضیح است که بندر شهید رجـایی بـه طـور رسـمی ۲ روز از سـال تعطیـل می‌باشد.

از سوی دیگر از آن جایی که امکان دارد به دلیل عوامل جـوی و نبـود بـار عمـلا در روزهای دیگری نیز تخلیه و بارگیری صورت نگیرد لذا بر اساس اطلاعات گذشته ضـریب تعدیل0/75٪ برای حجم عملیات تخلیه و بارگیری در طول یـک سـال بـه دسـت آمـده است. لذا میزان تقریبی صرفه جویی هزینه سالیانه به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

313632*0.75=235224 $

که میزان نهایی صرفه جویی مستقیم ناشی از دو مدل ارایه شده می‌باشد که از نقطه نظر اقتصادی، توجیه پذیری کامل مساله فوق را نشان می‌دهد. هرچند براسـاس تعریـف مساله، که پیش‌تر توضیح داده شد، دو مدل ارایه شده نتایج غیر مـستقیم فراوانـی را در افزایش بهری‌وری سلسله عملیات تصمیم گیری در یک ترمینال کانتینری در بر خواهند داشت.

در جدول زیر مقادیر مختلف مربوط به میزان صرفه جویی‌های به دست آمـده ناشـی از استفاده از مدل فوق در نمونه مسایل مختلف ارایه شده است. این اطلاعـات واقعـی در

Archive of SID

www.SID.ir

دوره‌های برنامه‌ریزی مختلف و به صورت نمونه‌ای از ترمینال کانتینری بندر شهید رجایی به دست آمده است :

NO	تعداد کشتی ورودی	تعداد کل کانتینرها	تعداد اسکله‌های قابل پهلوگیری	OFV_A	OFV_B	GAP
1	3	2421	۴	453254	421526	0.07
2	2	1650	۴	320245	290827	0.09
3	3	2230	۵	440625	409781	0.07
4	2	1545	۳	315245	300177	0.047
5	2	1517	۴	287412	257292	0.10
6	3	2242	۵	436275	389734	0.10
7	2	1720	۳	334526	321109	0.04
8	4	3720	۵	610210	568495	0.06
9	4	3640	۵	609145	566504	0.07
10	3	2456	۴	465233	432666	0.07
11	2	1743	۲	348524	344127	0.01
12	2	1812	۴	367210	341505	0.07
13	3	2570	۵	469250	426402	0.09
14	2	1427	۵	275410	246131	0.10
Average				409469	379020	.075

OFVA نشان دهنده مقدار تابع هدف نهایی با توجه به تخصیص غیربهینه و OFVB نشان دهنده مقدار تابع هدف نهایی با توجه به تخصیص بهینه‌ای است که با استفاده از رویکرد دو فازی فوق به دست آمده است. GAP نیز درصد کاهش در میزان تابع هدف را در رویکرد بهینه نسبت به تخصیص غیر بهینه نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

همان گونه که ملاحظه می‌شود در ۱۴ مساله نمونه مورد بررسی، رویکرد دو فازی ارایه شده به طور متوسط ۷٪ کاهش هزینه نهایی حمل و نقل را در برداشته است. به عبارت دیگر با توجه به متوسط هزینه حمل و نقل به دست آمده ناشی از چیدمان غیر بهینه که برابر 409469 می‌باشد و مقایسه آن با هزینه ناشی از تخصیص بهینه (379020)، ملاحظه می‌گردد که در یک افق برنامه‌ریزی به طور متوسط۳۰۳۳۹ = 379020 - 409469 واحد کاهش در میزان تابع هدف که همان کل مسافت طی شده توسط بارکش‌های داخلی می‌باشد، به دست آمده است که با در نظر گرفتن هزینه ثابت $۰,۰۲ به ازای هر واحد، متوسط کاهش هزینه $۶۰۹ در هر افق برنامه‌ریزی را شاهد خواهیم بود. که در طول یک سال حدود0.5 میلیون دلار خواهد بود.

۵. نتیجه گیری

در این مقاله یک مدل با رویکرد دو فازی با هدف افزایش کارایی ترمینال کانتینری بنادر توسعه داده شده ارایه گردیده است. به نحوی که در فاز اول کلیه کانتینرهایی که در یک افق زمانی مشخص وارد بندر شده‌اند یا خواهند شد، به بلوک‌های ذخیره سازی با هدف تعدیل حجم کاری تخصیص بهینه می‌یابند. و در فاز دوم بر مبنای مکان تعیین گردیده هر نوع کانتینر (خروجی فاز اول)، کلیه کشتی‌ها به اسکله‌ها با هدف کاهش کل مسافت طی شده تخصیص یافته و به طور هم زمان کانتینرهای هر کشتی نیز به بلوک‌ها تخصیص می‌یابند. در نهایت بر اساس اطلاعات واقعی نتایج حل بهینه (نرم افزار lingo) با تخصیص غیر بهینه‌ای که از اطلاعات واقعی به دست آمده‌اند مقایسه گردید که رویکرد در جهت کاهش هزینه‌های نهایی از کارایی بالایی برخوردار می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

جهت تحقیقات آینده می‌توان موارد زیر را پیشنهاد نمود:

۱. ارایه الگوریتمی کارا جهت حل فاز دوم مساله در ابعاد بزرگ.

۲. ارایه مدلی جهت تخصیص QC به شناورها.

۳. ارایه مدلی جهت آرایش بهینه بارکش‌ها در محوطه ترمینال.

۴. ارایه مدلی جهت چیدمان بهینه کانتینرها (به صورت عمودی و افقی) در درون بلوک‌های ذخیره سازی.

۵. ارایه مدلی جهت چیدمان بار بر روی کشتی‌ها.

۶. توسعه مدل‌های فاز اول و دوم مساله با افزودن کانتینرهای ترانزیتی.

مراجع

[1]. Zhang C., Liu J., Wan Y.W., Murty K.G and Linn R.J. Storage space allocation in container terminals, *Transportation Research* Part B 37 (2003) 883–903.

[2]. Zhang, C., 2000. Resource planning in container storage yards. Ph.D. Thesis, The Hong Kong University of Science and Technology.

[3]. Imai, A., Nishimura, E., Papadimitriou, S., 2001. The dynamic berth allocation problem for a container port. *Transportation Research* Part B 35 (4), 401–417.

[4]. Legato, P. and Mazza, R.M., Berth Planning and Resource Planning Optimization at a Container Terminal via Discrete Even Simulation, *European Journal Operational Research* 133 (2001) 537-547.

[5]. Legato, P., and Monaco, M.F., Human resources management at a marine container terminal, *European Journal of Operational Research* 156 (2004) 769–781.

[6]. Imai, A., Sasaki, K., Nishimura E. and Papadimitriou, S., Multi-objective simultaneous stowage and load planning for a container ship with container rehandle in yard stacks, *European Journal of Operational Research* (2004). Article in Press.

Archive of SID

www.SID.ir

[7]. Kima, K.H., Leea, K.M., and Hwang, H., Sequencing delivery and receiving operations for yard cranes in port container terminals, *Int. J. Production Economics* 84 (2003) 283–292

[8]. Zhang, C., Wan, Y.-w., Liu, J., Linn, R., 2002. Dynamic crane deployment in container storage yards. *Transportation Research* B 36 (6), 537–555.

[9]. Imai, A., Nishimura, E., Hattori M. and Papadimitriou S., (2007). Berth allocation at indented berths for mega-containerships, *European Journal of Operational Research* 179 (2), 579-593.

[10]. Cordeau, J.F., Gaudioso, M., Laporte G. and Moccia, L., (2007). The service allocation problem at the Gioia Tauro Maritime Terminal, *European Journal of Operational Research*, 176(2), 1167-1184.

[11]. Lee, D.H., Wanga H.Q. and Miao, L. Quay crane scheduling with non-interference constraints in port container terminals, *Transportation Research* Part E: Logistics and Transportation Review, Article in Press.

Archive of SID

www.SID.ir