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

ارایه مدل تخصیص فضای ذخیره سازی در ترمینال کانتینری و حل آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک: مطالعه موردی

محمد بزازی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع،
دانشگاه علوم و فنون مازندران
نیما صفایی، دکترای مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع،
دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده:

در این مقاله، حل مساله تخصیص محموله‌های ورودی و خروجی به فضای ذخیره‌سازی بار در یک ترمینال کانتینری نمونه؛ با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک (GA) مورد بررسی قرار می‌گیرد. ذخیره‌سازی موقت کانتینرها در بنادر تجاری، یکی از گام‌های اساسی در فرآیند حمل و نقل دریایی می‌باشد که دارای دو بخش عمده شامل حمل بار از شناور به محل ذخیره‌سازی و برعکس می‌باشد که در اصطلاح به آن عملیات ورود و خروج کانتینر گفته می‌شود. مساله تخصیص و چیدمان کانتینرها در محل‌های ذخیره‌سازی که به آن‌ها بلوک گفته می‌شود، به دلیل تنوع نوع کانتینر و توالی ورود و خروج آن‌ها، در نوع خود مساله‌ای پیچیده است که تاکنون راه حل کارا و سریع برای آن ارایه نشده است. رویکرد پیشنهادی با دریافت اطلاعات مربوطه به زمان ورود و خروج کانتینرها، محموله کشتی‌های ورودی به اسکله را با هدف تعدیل حجم‌کاری بین بلوک‌ها و تسریع در زمان ذخیره و بازیابی آن‌ها، به بلوک‌ها تخصیص می‌دهد. به دلیل ماهیت NP-hard حل این مساله، حل آن در ابعاد واقعی توسط رویکردهای کلاسیک هم چون برنامه‌ریزی ریاضی، امکان‌پذیر نبوده و درنتیجه استفاده از رویکردهای نوین

Archive of SID

www.SID.ir

بهینه‌سازی اجتناب ناپذیر می‌باشد. بنابراین، ابتدا مساله را در قالب مدل ریاضی فرموله نموده و درگام بعدی، مدل پیشنهادی توسط یک الگوریتم ژنتیک حل خواهد شد. در این تحقیق، توسعه GA به لحاظ نوع ارایه جواب و هم چنین طراحی عمل‌گر قابل توجه می‌باشد. نتایج به دست آمده حاکی از کارایی بالای GA توسعه داده شده برای حل مساله تخصیص کانتینر به فضای ذخیره می‌باشد.

واژگان کلیدی: کانتینر، ترمینال کانتینری ، بلوک، اسکله، الگوریتم ژنتیک.

۱. مقدمه

امروزه صنعت حمل و نقل دریایی[۳] از اهمیت به‌سزایی در چرخه اقتصادی‌کشورها برخوردار است چرا که حدود ۹۰٪ صادرات و واردات و به طورکلی حمل و نقل کالا در دنیا از طریق دریا صورت می‌گیرد. در این بین، ترمینال‌های کانتینری[۴] یا همان بنادر تجاری به عنوان حلقه اتصالی دریا و خشکی از اهمیت دو چندان برخوردار می‌باشند. از این‌رو، سطح کیفیت خدمات در بنادر جهت تسریع در فرآیند حمل‌و نقل، پاسخ سریع به مشتریان و هم‌چنین جذب مشتریان بیش‌تر بسیار حایز اهمیت می‌باشد. سطح کیفیت خدمات با نرخ بهره‌وری ترمینالی کانتینری (یا به اختصار ترمینال) رابطه بسیار تنگاتنگی دارد. بهره‌وری یک ترمینال به عوامل متعددی هم چون زمان پهلوگیری شناور از لحظه ورود به بندر؛ زمان تخلیه بار از شناور، زمان انتقال بار به فضاهای ذخیره سازی موقت یا اصطلاحا بلوک[۵]ها، زمان تخصیص و چیدمان بار در بلوک‌ها، زمان ترخیص بار

[3] Maritime transportation
[4] Terminal Container
[5] Block

Archive of SID

www.SID.ir

به - از گمرک، زمان بارگیری شناور و غیره بستگی دارد که هریک 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 تاثیر گذار بر بهره وری ترمینال‌ها است که به عنوان مساله تخصیص فضای ذخیره[۶] یا به اختصار SSA در ادبیات شناخته می شود. مساله مشابه مساله تخصیص تعمیم یافته[۷] است با این تفاوت که تخصیص وابسته به نوع و زمان ورود و خروج کانتینرها علاوه بر ظرفیت بلوک ها می‌باشد. در شرایط واقعی؛ نوع کانتینر به نوع 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 گردند که امکان دسترسی به انرژی برق وجود داشته باشد. هم‌چنین 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 دلخواه ذخیره شده و محدودیت تخصیص وجود دارد. هم چنین نوع کانتینر می‌تواند برحسب ابعاد یا وضعیت پر یا خالی بودن آن نیز متفاوت باشد. به عنوان نمونه، از آن جایی که در بلوک‌ها، کانتینرها روی یک دیگر (به صورت چند طبقه ای) ذخیره می‌شوند، نمی‌توان یک کانتینر پر را روی یک کانتینر خالی قرار داد. بنابراین با توجه به شرایط واقعی و نوع و اهمیت ترمینال، مساله SSA می تواند بیش از پیش پیچیده‌تر گردد. ترمینال‌ها از تجهیزات و ادوات بارگیری و جابه جایی متنوعی جهت انجام فرآیند حمل‌و نقل کانتینرها استفاده می‌کنند. برخی از این تجهیزات عبارتند از جرثقیل‌های ساحلی[۸] یا QC برای تخلیه و بارگیری کانتینرها از - به شناور، بارکش‌ها[۹] برای

[6] Storage Space Allocation
[7] Generalized Assignment Problem
[8] Quay Crane

Archive of SID

www.SID.ir

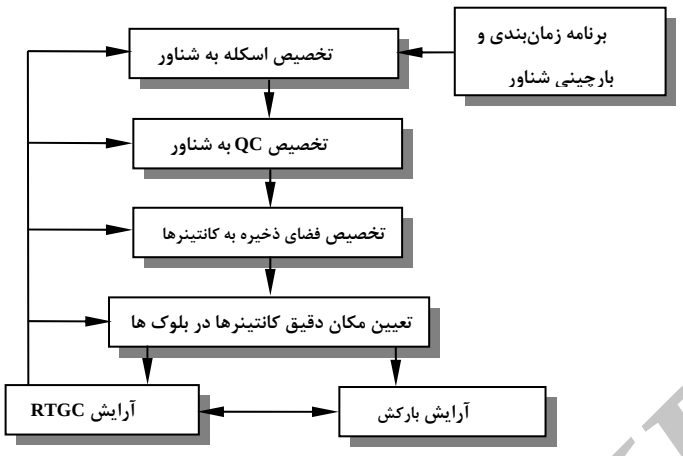
جا به جایی کانتینرها به - از بلوک ها و جرثقیل‌های محوطه [۱۰] یا در اصطلاح صفافه‌ها همانند RTGC[11] ها برای چیدمان کانتینرها در بلوک. تعداد، نوع عملکرد، زمان بندی و قابلیت این تجهیزات نیز به شدت در بهره وری یک ترمینال تاثیر گذار می‌باشد.

در حالت کلی تصمیم‌های مختلفی در عملیات ترمینال دخیل می‌باشند که بر یک دیگر تاثیر متقابل می گذارند. به عنوان مثال، تصمیم‌های مربوط به ذخیره کانتینرها در بلوک‌ها به طور مستقیم بر بارکاری تحمیل شده بر RTGC ها و فواصل طی شده توسط بارکش و هم چنین به طور غیرمستقیم بر کارایی QC ها تاثیر می‌گذارد. البته کلیه این تصمیم‌ها متاثر از تخصیص اسکله به شناورها می‌باشد. به دلیل پیچیدگی تصمیم‌گیری در شرایط فوق، حصول تصمیم بهینه امری به طور تقریب غیرممکن می‌باشد. لذا یک رویکرد سلسله مراتبی به صورت شکل (۱) در ادبیات ارایه شده است که فرآیند تصمیم‌گیری در ترمینال را به چند بخش کوچک‌تر تقسیم می‌نماید، به نحوی که خروجی یک بخش به عنوان ورودی بخش دیگر خواهد بود [۱].

Archive of SID

[9] Trailer
[10] Yard Crane
[11] Rubber Tried Gantry Crane

www.SID.ir



شکل ۱. ساختار سلسله مراتبی تصمیم‌های عملیاتی در یک ترمینال کانتینر

در این تحقیق، بعد از ارایه یک مدل برنامه‌ریزی عددصحیح غیرخطی برای مساله SSA ؛ حل آن توسط GA مورد بررسی قرار خواهد گرفت. مدل پیشنهادی با دریافت اطلاعات مربوطه به زمان ورود و خروج کانتینرها، محموله کشتی‌های ورودی به اسکله را با هدف تعدیل حجم‌کاری بین بلوک‌ها و تسریع در زمان ذخیره و بازیابی آن‌ها، به بلوک‌ها به طور بهینه تخصیص می‌دهد. از دید بهره وری، این عمل در کاهش زمان پهلوگیری شناورها موثر می‌باشد. یکی از نقاط قوت مدل پیشنهادی، در نظر گرفتن نوع کانتینر در مساله SSA است. همان طورکه پیش‌تر نیز اشاره شد، این فرض موجب محدودیت در تخصیص کانتینرها به بلوک‌ها خواهد شد. از طرف دیگر، فرض مذکور، ابعاد مساله و در نتیجه درجه پیچیدگی آن را افزایش می‌دهد. تحقیق جاری بر مبنای شرایط واقعی موجود در بندر شهید رجایی ایران توسعه داده شده است.

به دلیل ماهیت NP-hard مساله SSA، حل آن در ابعاد واقعی عملاً توسط رویکردهای کلاسیک هم‌چون برنامه‌ریزی ریاضی، امکان‌پذیر نبوده و در نتیجه استفاده از رویکردهای نوین بهینه‌سازی اجتناب ناپذیر می‌باشد. الگوریتم ژنتیک (GA) جزو

Archive of SID

www.SID.ir

کاراترین الگوریتم های تکاملی[۱۲] است که تاکنون کاربردهای بسیار زیادی از آن در ادبیات موضوع؛ جهت حل مسایل متنوع در رشته های مختلف علوم مهندسی ارایه شده است. این رویکرد با الهام از فرآیند تکامل طبیعی ارگانیسم‌های زنده، سعی درکاوش و تجسس فضای جواب توسط برخی عمل گرهای ژنتیکی جهت یافته جواب های بهتر دارد. بر این راستا، نحوه ارایه جواب و طراحی عمل گرهای ژنتیکی دو عامل اساسی در توسعه GA و تا حدودی هر رویکرد فراابتکاری دیگری می‌باشند. به دلیل ماهیت مساله SSA در نظر گرفته شده، چگونگی ارایه جواب و به طبع آن، طراحی عمل گرهای ژنتیکی جزو نقاط قوت تحقیق جاری محسوب می‌شوند.

۲. پیشینه تحقیق

تاکنون تحقیقات زیادی روی عملیات گوناگون در داخل ترمینال کانتینری همانند زمان بندی جرثقیل‌ها [۲]، تخصیص اسکله [۳] ، برنامه‌ریزی اسکله و بهینه‌سازی منابع [۴]، مدیریت منابع انسانی [۵]، برنامه ریزی بارگیری و چیدمان بار[۱۳] در شناور [۶] و زمان بندی عملیات دریافت و تحویل کانتینرها توسط صفافه ها [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 امکان پذیر نبوده و امری بسیاری پیچیده می‌باشد. خلاصه ای از عملیات مختلف ترمینال کانتینری را می توان در مرجع [۸] یافت. مساله SSA برای اولین بار به صورت مجزا توسط زانگ[۱۴] و هم کاران مورد بررسی قرار گرفت [۱]. آن‌ها

[12] Evolutionary Algorithms
[13] Stowage and Load Planning
[14] Zhang

Archive of SID

www.SID.ir

ساختار تصمیم‌گیری ارایه شده در شکل (۱) را مبنای فرآیند تصمیم‌گیری 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 طوری‌که خروجی مساله SSA به عنوان ورودی مساله تخصیص شناور به اسکله در نظر گرفته می‌شود. همان طورکه 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 ویژه GA برای حل مسایل ترمینال کانتینری ارایه شده است. آمیا[15] و هم کاران از GA برای حل یک مدل غیرخطی تخصیص اسکله به شناور در یک ترمینال چندکاربری استفاده کردند [۹]. کرد[16] و هم کاران برای حل مساله تخصیص سرویس که مربوط به جابه جایی مجدد کانتینرها در بلوک‌ها می‌باشد، از GA استفاده کردند [۱۰]. لی[17] و هم کاران برای زمان بندی جرثقیل‌های ساحلی از GA استفاده کردند [۱۱]. هم چنین آمیا و هم کاران حل مساله برنامه‌ریزی بارگیری و چیدمان بار در شناور را با GA مورد بررسی قرار دادند [۶]. تاکنون حل مساله SSA توسط هیچ رویکرد فرا ابتکاری مورد بررسی قرار نگرفته است که از نکات برجسته تحقیق جاری می‌باشد.

[15] Imia
[16] Cordeau
[17] 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 آن جا لنگر انداخته و کانتینرهای ورودی[۱۸] (خالی یا پر از محموله[۱۹]) را تحویل داده و کانتینرهای خروجی[۲۰] را بارگیری می‌نمایند. جهت سنجش عملکرد ترمینال و ظرفیت شناورها از یک واحد استاندارد بنام TEU[21] 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 در اصطلاح به آن‌ها بلوک گفته می‌شود. تحت عنوان بلوک[۲۲] تقسیم می‌شود. هر بلوک یک ناحیه مستطیل شکل با چند سطر یا راهرو[۲۳] می‌باشد به طوری که یک راه رو جهت عبور و مرور بارکش و سایر سطرها جهت ذخیره‌سازی کانتینر استفاده می گردد. 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 می توان تقسیم کرد [۱].

۱- کانتینرهای ورودی بروی شناورها که هنوز تخلیه و به محوطه آورده نشده‌اند (C1).

---

[18] Inbound-Import
[19] Cargo
[20] Outbound-Export
[21] Twenty-foot Equivalent Unit
[22] Block
[23] Lane-Slot

Archive of SID

www.SID.ir

۲- کانتینرهای ورودی که پیش‌تر به محوطه تخصیص داده شده و منتظرمشتریان خود می‌باشند (C2).

۳- کانتینرهای خروجی که هنوز به محوطه آورده نشده اند (C3).

۴- کانتینرهای خروجی که پیش‌تر به محوطه تخصیص داده شده و منتظر بارگیری شناورها می‌باشند (C4) .

از آن جایی که زمان رسیدن کانتینرهای C1 و ترخیص کانتینرهای C4 به طور مستقیم بستگی به زمان بندی شناورها دارد, مبدا زمانی برای جابه جایی این کانتینرها توسط جرثقیل از ابتدا شناخته شده می‌باشد. از طرف دیگر، تنها بر طبق داده‌های گذشته می‌توان توزیع مبدا زمانی جهت جا به جایی کانتینرهای C2 و C3 را به دست آورد. در نتیجه مبدا زمانی جهت جابه جایی کانتینرهای C2 و C3 پارامترهای نادقیق و مبهم می‌باشند، ولی یک بازه زمانی به طور تقریب نامحدود برای انبارکردن کانتینرهای C2 و C3 در محوطه وجود دارد به طوری که چند روز بعد از رسیدن و چند روز قبل از ترخیص شناورهای مربوطه، فرصت برای انبارکردن وجود دارد. هدف اصلی عبارت است از: کمینه‌سازی متوسط زمانی پهلوگیری شناورها.

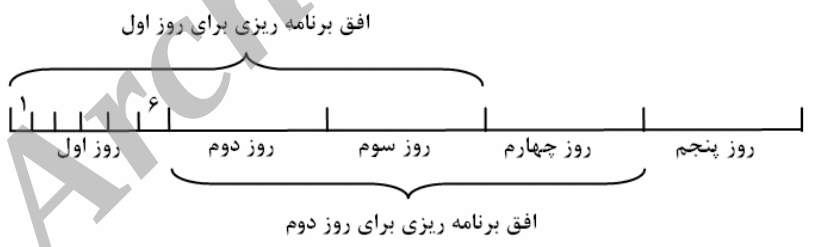
بر طبق شرایط خاص بندر شهیدرجایی، ۸۰ درصد کالاهای تخلیه و بارگیری شده مربوط به واردات می‌باشد (یعنی کالاهای تخلیه شده). به این معنی که توزیع کانتینرها درداخل بلوک‌ها، بر مبنای کانتینرهای ورودی می‌باشد. به این صورت که پس از تخصیص کانتینرهایی که قرار است تخلیه شوند، و نیز تخصیص کشتی به اسکله، کانتینرهای خروجی که قرار است روی کشتی مورد نظر بارگیری شوند، در نزدیک‌ترین مکانی‌که کشتی پهلوگرفته است به صورت یک جا انبار می‌شوند. لذا تخصیص کانتینرهای خروجی به بلوک‌های مختلف معنی نخواهد داشت. به عبارت دیگر

Archive of SID

www.SID.ir

کانتینرهای متعلق به یک کشتی که قرار است از بندر خارج شوند (چه آن‌هایی که از قبل ذخیره گشته و منتظر خروج می‌باشند و چه آن‌هایی که در حال رسیدن به محوطه می‌باشند) همگی در یک مکان مشخص ذخیره می‌گردند. از این رو تمامی تصمیم‌گیری‌های مربوط به امر تخصیص‌کشتی به اسکله بر مبنای *مکان تخصیص کانتینرهای ورودی می‌باشد*. بنابراین در این تحقیق فقط کانتینرهای نوع C1 و C2 در نظر گرفته خواهند شد. چراکه ۸۰ درصد محموله ها در بندر تحت مطالعه مربوط به کانتینرهای ورودی است.

به دلیل اینکه عملیات ترمینال کانتینری بندر شهید رجایی بر حسب ساعت برای ۳۶۳ روز سال برنامه ریزی می‌گردد. لذا ناگزیر به استفاده از یک افق برنامه‌ریزی ثابت می‌باشیم : به نحوی که روش خود را باید طبق یک رویکرد افق پوششی[۲۴] مورد بررسی قرار دهیم. در رویکرد افق پوششی, در شروع هر افق برنامه‌ریزی, برای یک بازه زمانی متشکل از تعداد ثابتی دوره در آینده برنامه‌ریزی می نماییم. سپس در اواسط افق جاری یک برنامه‌ریزی جدید براساس آخرین اطلاعات به دست آمده برای افق بعدی انجام داده و این رویکرد به طور پیوسته ادامه می‌یابد. شکل (۲) یک نمای الگو واره از رویکرد افق پوششی را نشان می‌دهد



شکل ۲. یک افق برنامه ریزی پوششی سه روزه

[24] Rolling-horizon Approach

Archive of SID
www.SID.ir

یک دوره برنامه‌ریزی کوتاه مستلزم حجم محاسباتی کم‌تری می‌باشد, ولی توان پیش بینی درمورد آینده را کاهش خواهد داد. در حالی که, یک دوره برنامه ریزی طولانی ممکن به لحاظ محاسباتی غیرعملی بوده و حاوی اطلاعات نادقیق بیشتری می‌باشد. با بررسی تاثیر افق برنامه‌ریزی به روی پیچیدگی مساله، شدنی بودن محاسبات و صحت داده ها و شرایط خاص مورد مطالعات ما افق برنامه ریزی برابر سه روز قرار می‌دهیم به طوری که هر روز به شش قسمت چهارساعتی تقسیم می‌گردد. یعنی هر دوره برابر ۴ ساعت می‌باشد. بنا بر این در ابتدای روز اول، یک برنامه تخصیص فضای انبار تا انتهای دوره ۱۸ (سه روز) ایجاد می‌گردد. سپس در پایان روز اول یک برنامه سه روزه دیگر با توجه به آخرین اطلاعات به دست آمده برای افق بعدی تبیین می‌گردد. این کار در انتهای هر روز صورت خواهد گرفت.

حداکثر زمان اقامت کانتینرهای ورودی تقریباً برابر حداکثر دوره ترخیص آن‌ها می‌باشد، که از طول افق 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 دردسترس بین بلوک ها توزیع می کنیم به گونه‌ای که تراکم بلوک‌ها تعدیل‌گردد. چنین روش تقریبی یک تاثیر نهایی بروی عملکرد رویکرد پیشنهادی دارد، به این ترتیب که اکثر کانتینرهای یک شناور در طول افق برنامه‌یزی (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

Archive of SID

www.SID.ir

برنامه‌ریزی سپری شده است. با توجه به مطالب ذکر شده، بطور کلی هر کانتینر در این تحقیق دارای چهار خصوصیت مختلف بصورت زیر می‌باشد:

۱- بلوکی که کانتینر باید بدان تخصیص یابد.

۲- زمان تخلیه (دوره حضور کانتینر در بلوک)

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

۴- نوع کانتینر.

همانطور که پیش تر نیز بیان شد، هدف مساله SSA، تخصیص کانتینرها به بلوک‌ها با هدف کمینه‌سازی زمان پهلوگیری شناورها از طریق تعدیل حجم‌کاری 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 حجم‌کاری پردازشگرهای موازی فوق موجب کمینه سازی زمان تکمیل شناور مورد نظر به عنوان یک Job خواهد شد. نتایج مشابه بروی مساله آرایش RTGC ها نشان می‌دهد که تعدیل حجم کاری بلوک‌ها موجب کاهش تأخیر در جابه جایی کانتینرها می‌شود (Zhang *et al.*, 2002). مرحله اول مبتنی بر مفروضات 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 جرثقیل های محوطه یکسان می‌باشد.

۴. حجم کاری برحسب تعداد کانتینر سنجیده می‌شود.

۵. برای سازگاری, ظرفیت فضای انبار نیز برحسب کانتینر سنجیده می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

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 اندازه های گوناگون با یکدیگر در یک بلوک قرار داده نمی‌شوند و اندازه کانتینرهای موجود در یک بلوک بندرت متغیر می‌باشد).

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

۳-۱- توسعه مدل ریاضی

در این قسمت، مساله SSA را بصورت یک مدل برنامه ریزی عددصحیح شبیه سازی می‌نماییم. مدل پیشنهادی تعداد کانتینرهای نوع C1 تخصیص داده شده به هر بلوک و در هر دوره را با در نظر گرفتن وضعیت کانتینرهای نوع C2 تعیین می کند، بگونه ای که عدم تعادل در تخصیص محموله ها در بین کلیه بلوک ها کمینه گردد. پارامترهای مدل پیشنهادی بصورت زیر تعریف می شوند:

- **پارامترهای ورودی**

B	تعداد کل بلوکها در محوطه
T	تعداد کل دوره های برنامه‌ریزی در یک افق
R	تعداد کل انواع کانتینرها
C_i	ظرفیت ذخیره بلوک i ام بطوریکه $i=1,2,...B$
$\widetilde{D}_{tkr}$	تعداد کل انتظاری کانتینرهای ورودی C_1 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 C_1 از نوع r که در دوره t از شناورها تخلیه و به

Archive of SID

www.SID.ir

بلوک i تخصیص داده شده اند(تعداد آن توسط روش توزیع نسبی تعیین می شود) بطوریکه 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 C_1 از نوع r باقی مانده از دوره قبل در بلوک iکه 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: اوزان مربوط به تابع هدف که توسط مدیریت تعیین می گردد.

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 C1 نوع r با اطلاعات کامل که در بلوک i ذخیره شده بطوریکه در دوره t از شناورها تخلیه شده و باید در دوره $t+k$ توسط مشتری تحویل گرفته شوند.

D_{itr} تعداد کل کانتینرهای C1 نوع r با اطلاعات کامل یا ناقص که در بلوک i ذخیره شده بطوریکه در طول دوره t از شناورها تخلیه می شوند. 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 C1 نوع r که در بلوک i ذخیره شده بطوریکه در دوره t

Archive of SID

www.SID.ir

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 بصورت 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 ارتباط با شناور است که نیاز است تا در بلوک i و در دوره t تخلیه شوند. همچنین $D_{itr} + P_{itr}$ 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 بعلاوه عدم تعادل تعداد کل کانتینرها در همه بلوک ها در هر دوره برنامه‌ریزی را نشان می‌دهد. پارامترهای w_1 و w_2 مبین اوزان یا اهمیت اهداف مذکور می‌باشند که توسط مدیریت ترمینال تعیین می‌گردد

به طوری که $w_1 + w_2 = ۱$. به عبارت ساده تر زمانی که ترخیص زودتر کشتیها بیشتر از تعدیل حجم‌کاری کل ترمینال برای مدیریت از اهمیت بیشتری برخوردار باشد، $w_2 < w_1$ خواهد بود و بالعکس. لازم به ذکر است که عدم تعادل مذکور باید بر روی نوع کانتینرها به صورت جداگانه جمع بسته شود بدین معنی که عدم تعادل باید مابین بلوکهای مربوط به هر نوع کانتینر بصورت جداگانه در نظر گرفته شود. به عنوان مثال، عدم تعادل بلوکهای مخصوص کانتینرهای معمولی و بلوکهای مختص کانتینرهای یخچالی بصورت‌جداگانه محاسبه خواهد شد و عدم تعادل نهایی از مجموع آن‌ها بدست

Archive of SID

www.SID.ir

خواهد آمد. محدودیت‌های مدل پیشنهادی عباتند از:

الف : محدودیت‌های حفظ جریان کانتینر

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

$$D_{itr} = \beta_{itr} + \sum_{k=1}^{T-k} D_{itkr} \qquad i=1,2,..,B\ ,\ t=1,2,..,T\ r=1,2,..,R \qquad (3)$$

محدودیت (۲) تضمین می کند که تعداد کل انتظاری کانتینرهای ورودی نوع C1 با اطلاعات کامل, جهت تخصیص به بلوک‌ها منتظر بمانند, بطوریکه $\tilde{D}_{tkr}$ برابر مجموع کانتینرهای ورودی نوع C1 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 C1 (ورودی) با اطلاعات کامل یعنی $\sum_{k=1}^{T-k} D_{itkr}$ بعلاوه تعداد کل کانتینرهای نوع C1 با زمان ترخیص نامعلوم یعنی β_{itr} در افق برنامه‌ریزی می‌باشد.

ب : محدودیت های بروی کانتینرهای نوع C1.

$$P_{itr} = \sum (D_{i(t-k)kr}) + \tilde{P}_{itr} \qquad i=1,2,..,B\ ,\ t=1,2,..,T\ ,\ r=1,2,..,R \qquad (4)$$

Archive of SID

www.SID.ir

برای درک بیشتر محدودیت شماره (۴) مثال زیر را در نظر بگیرید (برای سهولت از نوع کانتینر موقتا صرف نظر می‌گردد):

فرض کنید P_{13} برابر است با کانتینرهایی که در دوره سوم از بلوک اول خارج می‌شوند. که این تعداد برابر است با اولا کانتینرهایی‌که 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 می تواند در حالات زیر اتفاق افتد:

کانتینرهایی که به بلوک ۱ تخصیص یافته و در دوره اول رسیده اند و ۲ دوره بعد از آن خواهند رفت. یعنی D_{112}

کانتینرهایی که به بلوک ۱ تخصیص یافته و در دوره دوم رسیده اند و ۱ دوره بعد از آن خواهند رفت.یعنی D_{121}

لذا مقدار D_{112} +D_{121} برابر کلیه حالات ممکنه 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 حالات 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 دوره های افق برنامه‌ریزی جاری از بلوک مفروض خارج خواهند شد که این مقدار به عنوان یک ورودی از داده‌های بدست آمده از افق قبلی به صورت $\tilde{P}_{it}$ در اختیار می‌باشد. لذا مقدار کل کانتینرهایی که در هر دوره از دوره‌های افق جاری و با در نظر گرفتن نوع کانتینر از بلوک‌های ذخیره‌سازی خارج خواهند شد به صورت $P_{itr} = \sum_{k=1}^{t-1} D_{i(t-k)kr} + \tilde{P}_{itr}$ بدست می آید.

Archive of SID

www.SID.ir

ج- محدودیت های چگالی بلوک

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

$$V_{itr} \le \eta C_i$$

(5)

$$i=1,2,..,B \ , \ t=1,2,..,B \ , \ r=1,2,..,R$$

(6)

بطوریکه η برابر چگالی مجاز برای هر بلوک می‌باشد. محدودیت (۵) موجودی را از دوره ای به دوره دیگر بهنگام‌سازی می‌نماید به نحوی که بیان می‌دارد که موجودی پایان هر دوره برابر است با موجودی ابتدای آن دوره(پایان دوره قبل) بعلاوه تعداد کانتینری که در طول این دوره در بلوک مفروض ذخیره خواهد گردید منهی 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 می‌باشد بدین دلیل در نظر گرفته می‌شود که تعداد کانتینر ذخیره گردیده در هر بلوک کمتر از ظرفیت کامل بلوک باشد تا فضای کافی برای حرکت جرثقیل های محوطه وجود داشته باشد.

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

(7)

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

Archive of SID

www.SID.ir

۴- توسعه الگوریتم ژنتیک برای حل مساله SSA

در این بخش، برای حل مساله SSA ارایه شده در مرحله اول در ابعاد واقعی، یک الگوریتم ژنتیک توسعه داده خواهد شد. توسعه GA برای مساله مذکور شامل گامهای زیر می‌باشد.

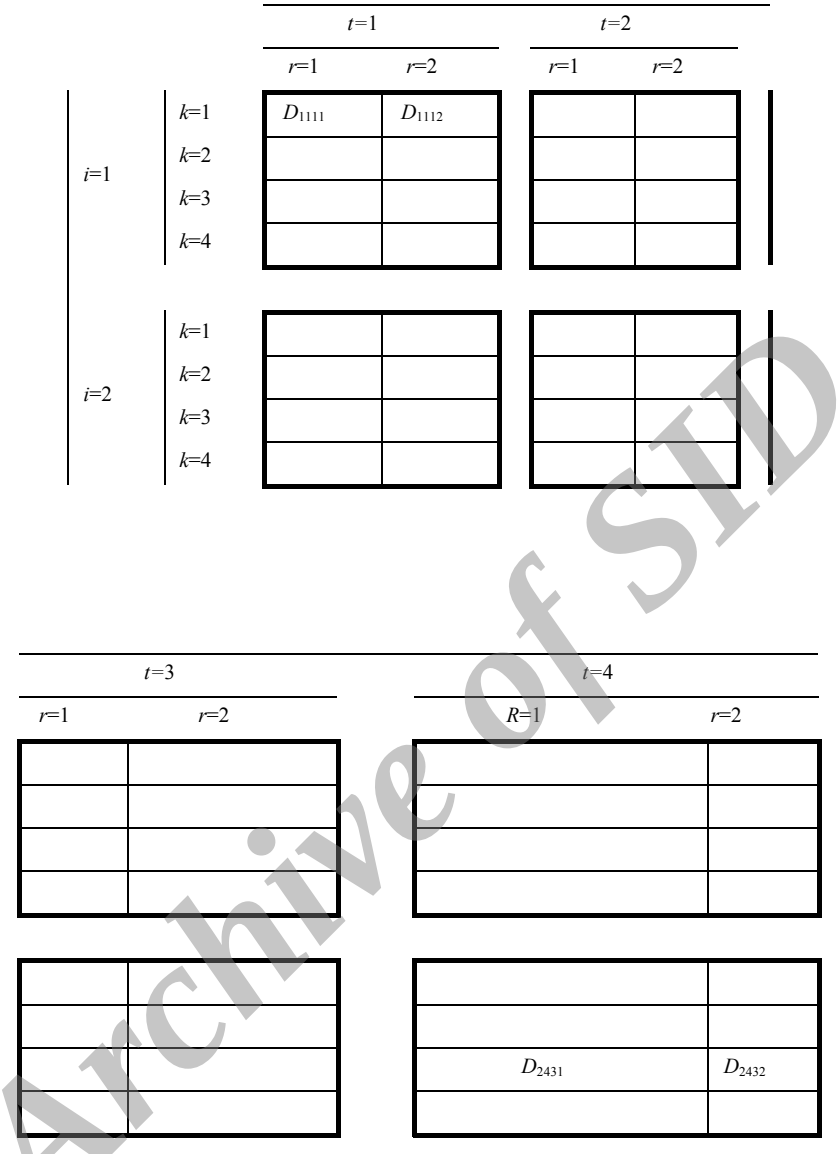
۴-۱- طراحی کروموزوم (نمایش جواب)

اولین گام اساسی در توسعه GA ، طراحی یک کروموزوم مناسب با توجه به ساختار و مفروضات مساله تحت بررسی می‌باشد. کروموزوم باید بگونه ای طراحی گردد که اولاً تا حد امکان محدودیت های اساسی مساله را برآورده ساخته و ثانیا انعطاف‌پذیری کافی برای اعمال عملگرهای ژنتیکی را داشته باشد. در اینجا انعطاف‌پذیری به‌معنای سهولت اجرا و حفظ درجه شدنی بودن کروموزوم می‌باشد. وجود محدودیت‌های به شکل تساوی، همانند محدودیت های (۲) تا (۵)، عمدتاً این انعطاف‌پذیری را بشدت کاهش می‌دهد. زیرا رعایت چنین محدودیت هایی در حین کاوش تصادفی فضای جواب، امری پیچیده و مشکل می‌باشد.

برای مساله SSA، کروموزوم بگونه ای طراحی شده است که تداعی کننده ماهیت متغیر تصمیم مدل یعنی D_{itkr} باشد. در نتیجه از یک ساختار چهار بعدی برای نمایش کروموزوم استفاده شده است که ابعاد آن به ترتیب مبین شماره بلوک، دوره ورود کانتینر به بلوک، دوره خروج کانتینر از بلوک و نوع کانتینر می‌باشند. این ساختار چهاربعدی برای یک مساله فرضی با پارامترهای $B=2$، $T=K=4$ و $R=2$ در شکل (۳) نشان داده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳. ساختار کروموزوم برای مساله SSA

Archive of SID

www.SID.ir

۴-۱- تولید جمعیت اولیه

همانطورکه پیش نیز اشاره شده، وجود قیود متعدد به شکل تساوی در مدل SSA، بدلیل فراکنش بین دوره ها در یک افق برنامه ریزی، موجب می‌شود که چگونگی تولید جواب های اولیه و نحوه طراحی عملگرها از اهمیت زیادی برخوردار گردند.بنابراین برای تولید یک جواب اولیه ژن های کروموزوم را با اعداد تصادفی دلخواه در بازه $\left[\min\{\tilde{D}_{tkr}\},\ \min\{\tilde{D}_{tkr}\}\right]$به نحوی پر کنیم که روابط زیر همواره برقرار باشند:

$$if\ S_{ir}=0 \Rightarrow D_{itkr}=0 \quad \forall i,t,k,r$$

$$\sum_{i=1}^{B} D_{itkr}=\tilde{D}_{tkr} \quad \forall t,k,r$$

$$P_{itr}=\sum_{k=1}^{t-1}(D_{i(t-k)kr})+\tilde{P}_{itr} \quad \forall i,t,r$$

$$V_{itr}=V_{i(t-1)r}+D_{itr}-P_{itr} \quad \forall i,t,r$$

$$V_{itr}<=\eta C_i \quad \forall i,t,r$$

جهت درک بهتر نحوه تولید جواب اولیه و همچنین محاسبه مقدار تابع هدف مربوطه، یک مساله فرضی با پارامترهای B=4، T=K=4، R=1، w_1=1 و w_2=0 ، را در نظر بگیرید. جهت سادگی، موقتاً مساله را مستقل از نوع کانتینر در نظر می‌گیریم (موقتاً اندیس r را از سیستم حذف می‌کنیم). همچنین تمرکز مثال بروی فقط یک بلوک (مثلا بلوک ۱) و کانتینرهای نوع C1 (حجم بار ورودی) می‌باشد. فرض کنید برطبق اطلاعات بدست آمده از ورود و خروج کانتینرها، داده‌های موجود مطابق شکل 4 در دست می باشند, بطوریکه B_{11}=10 . با توجه به داده‌های ارایه شده، داریم:

$= 9+14+10= 33+10 = 43$, $D_{21}= 42$, $D_{31}=42$ and $D_{41}=43$ $D_{11}=\sum_{k=1}^{T} D_{11k}+B_{11}$

Archive of SID

www.SID.ir

در نتیجه

$$\max_{i=1}^{4}\{D_{11}\}=43,\ \min_{i=1}^{4}\{D_{11}\}=42$$

بنابراین مقدار تابع هدف در رابطه (۱) بصورت زیر بدست می‌آید.

$$\min Z=\sum_{t=1}^{T}\left[\max_{i=1}^{4}\{D_{it}\}-\min_{i=1}^{4}\{D_{it}\}\right]=1+2+2+0=5$$

بنابراین مقدار تابع هدف در رابطه (۱) بصورت زیر بدست می آید.

$$\min Z=\sum_{t=1}^{T}\left[\max_{i=1}^{4}\{D_{it}\}-\min_{i=1}^{4}\{D_{it}\}\right]=1+2+2+0=5$$

i=1

***D*$_{11}$=33**	۹	۱۴	۱۰	
***D*$_{12}$=35**		۲	۱	۳۱
***D*$_{13}$=19**	۱۶	۳		
***D*$_{14}$=30**		۳۰		

i=2

***D*$_{21}$=32**	۹	۱۴		۹
D$_{22}$=36		۹	۲۰	۷
D$_{23}$=20	۱۹	۱		
D$_{24}$=30	۲۰	۱۰		

i=3

***D*$_{31}$=33**	۹		۱۸	۵
***D*$_{32}$=36**	۱۴	۱۱	۱۱	
***D*$_{33}$=21**		۱۱		۱۰
***D*$_{34}$=30**	۳۰			

i=4

***D*$_{41}$=33**	۹	۸	۶	۱۰
***D*$_{42}$=34**	۶	۲۲	۶	
***D*$_{43}$=20**		۱۰	۱۰	
***D*$_{44}$=30**		۱۰	۲۰	

شکل ۴- مثال نمونه با ابعاد $B=4$، $T=K=4$، $R=1$

Archive of SID

www.SID.ir

۴-۲- طراحی عملگرهای ژنتیکی

۴-۲-۱- عملگر تقاطعی حسابی

برای حفظ شدنی بودن فرزندان تولید شده، از یک عملگرتقاطعی کارا بنام عملگر تقاطعی حسابی[۲۵] استفاده شده است. این عملگر با ایجاد یک ترکیب خطی از والدین، موجب می‌شود که فرزندان بدست آمده خصیصه شدنی بودن را از والدین خود به ارث ببرند. بدلیل ماهیت مساله مورد بررسی، سایر عملگرهای تقاطعی در اکثر مواقع موجب تولید جواب‌های نشدنی خواهند شد که این امر منجر به افزایش بسیار زیاد زمان محاسبات و ناکارایی الگوریتم خواهد شد. فرم کلی عملگر تقاطعی حسابی زیر می‌باشد:

$$\text{Offspring} = \lambda\times\text{parent1}+(1-\lambda)\times\text{parent2};\ \lambda\in(0,\ 1)$$

بنابراین، رابطه فوق بروی ژنهای نظیر به نظیر والدین انتخاب شده اعمال شده تا فرزند جدید مشابه ساختار شکل (۳) تولید گردد. به عبارت دیگر:

$$D_{itkr}(\text{Offspring}) = \lambda D_{itkr}(\text{parent1}) + (1-\lambda)\, D_{itkr}(\text{patent2})$$

از آنجایی‌که ژنها فقط مقادیر عدد صحیح را می‌پذیرند، در نتیجه باید جزی صحیح $[D_{itkr}(\text{offspring})]$ به عنوان خروجی مطلوب در نظرگرفته شود. برطبق محدودیت (۲)، این امر منجر به تولید خطایی به اندازه $Q=\sum_{i=1}^{B}[D_{itkr}(\text{offspring})]-\tilde{D}_{tkr}$ می گردد. برای رفع این خطا و ارضای محدودیت (۲)، به ازای هر r,k,t ، Q به کوچکترین D_{itkr} کروموزوم فرزند اضافه می‌گردد. اگر مقدار برازندگی بدست آمده برای فرزند کوچکتر از متوسط برازندگی والدین باشد، فرزند پذیرفته شده در غیر اینصورت فرزند را

[25] Arithmetic Crossover

Archive of SID

www.SID.ir

نمی‌پذیریم.

۴-۲-۲- عملگر جهش

وظیفه اساسی عملگر جهش در GA، حفظ تنوع در جمعیت و استخراج بهتر فضای جواب می‌باشد. اکثر عملگرهای جهش در ادبیات برای به دو دسته عمده می توان تقسیم نمود: ۱- عملگرهای مبتنی بر تعویض[۲۶] و ۲- عملگرهای مبتنی بر تغییر[۲۷] مقادیر ژن. در اینجا نیز جهت مراعات محدودیت های مدل پیشنهادی، مخصوصاً محدودیت اساسی (۲)، از یک عملگر جهش مبتنی بر تغییر استفاده شده است که مشابه روش پله‌سنگی برای حل مساله حمل و نقل کلاسیک می باشد. جهت اعمال این عملگر، رویه زیر را دنبال می کنیم:

۱- ابتدا یک کروموزوم به تصادف انتخاب کنید.

۲- به ازای هر r,k,t قرار دهید $D_{ptkr}=\max_{i=1}^{B} D_{itkr}$ ، $D_{qtkr}=\min_{i=1}^{B} D_{itkr}$

$$D_{ptkr}-D_{qtkr}=\delta_{tkr}$$

۳- مقادیر D_{ptkr} و D_{qtkr} را بصورت زیر تغییر دهید.

$$D_{qtkr}=D_{qtkr}+\left\{\delta_{tkr}-\left\lfloor\frac{\delta_{tkr}}{2}\right\rfloor\right\}\ ,\ D_{ptkr}=D_{ptkr}-\left\lfloor\frac{\delta_{tkr}}{2}\right\rfloor$$

عملگر مذکور علاوه بر تولید جواب همسایه؛ محدودیت (۲) را شدنی نگه می‌دارد. به عنوان نمونه، فرض‌کنید که در شکل ۴، $D_{111}=45,\ D_{211}=88,\ D_{311}=55,\ D_{411}=33$. بر طبق عملگر جهش فوق، $D_{p11}=88$ و $D_{q11}=34$ و در نتیجه $\delta_{11}=55$. بنابر بند ۳ رویه فوق، مقادیر D_{p11} و D_{q11} بصورت زیر تغییر خواهند کرد.

---

[26] Exchange
[27] Change

Archive of SID

www.SID.ir

$$D_{p111} = 88 - \left\lfloor \frac{55}{2} \right\rfloor = 27, \quad D_{q111} = 34 + \left\{ 55 - \left\lfloor \frac{55}{2} \right\rfloor \right\} = 61$$

۴-۳-استراتژی انتخاب والدین و معیار توقف

برای انتخاب والدین از استراتژی کلاسیک چرخ رولتی استفاده شده است. همچنین جهت توقف الگوریتم از معیار حداکثر تعداد نسلهای سپری شده ($G_{\max}$) استفاده شده است.

۵-نتایج محاسباتی

این بخش، صحت عملکرد مدل پیشنهادی و GA توسعه داده شده را با حل تعدادی مسایل نمونه در ابعاد مختلف مورد بررسی قرار می‌دهد. مسایل نمونه بر طبق اطلاعات واقعی بدست آمده از بندر شهید رجایی ایجاد شده اند. کلیه مسایل نمونه توسط یک سیستم پنتیوم با ۵۱۲ مگابایت RAM حل شده‌اند. الگوریتم ژنتیک توسط C# توسعه داده شده و مدلهای ارایه شده در مرحله های اول و دوم نیز توسط نرم افزار LINGO 8.0 حل شده اند. جهت درک بهتر مساله ، فرض کنید که یک کشتی از افق برنامه‌ریزی قبلی در بندر حضور دارد که عملیات تخلیه بر روی آن همچنان ادامه دارد تا مابقی کانتینرهای آن تخلیه گردد (کشتیA). کشتی دیگری نیز وارد حوضچه بندر شده و آماده پهلو گیری می‌باشد (فرض کنید زمان پهلوگیری تقریباً 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 پهلو گیری ۳ ساعت برابر یک دوره برنامه ریزی زمان نیاز دارد. لذا عملیات تخلیه بر روی آن از ابتدای دوره دوم شروع خواهد گردید(کشتیC). توجه کنید که در شرایط واقعی زمان پهلوگیری در بندر شهید رجایی

Archive of SID

www.SID.ir

حدود ۴ ساعت زمان می برد، اما این موضوع خللی بر کلیت مساله وارد نمی سازد چرا که می‌توان زمان فوق را به صورت زمان در دسترس در مدل در نظر گرفت که موقتا به صورت پیش فرض حذف گردیده است. از سوی دیگر فرض می کنیم که چهار بلوک ذخیره سازی در اختیار می‌باشد که کشتی A از افق برنامه ریزی قبلی در اسکله دوم پهلوگرفته است. همانگونه که شرح داده شد، هدف مساله ، تخصیص کل کانتینرها به بلوک‌های ذخیره‌سازی می باشد به نحوی که حجم کاری کل کمینه گردد. جداول زیر اطلاعات اولیه مربوط به هر کشتی را ارایه می دهند که شامل دوره زمان ورود کانتینر (t)، زمان خروج کانتینر (k)، و نوع کانتینر (r) می باشد. لازم به ذکر است که کانتینرهای هر نوع که در دوره های مربوطه وارد می‌شوند. همانگونه که قبلا توضیح داده شد، دارای دو وضعیت می‌باشند: کانتینرهایی که زمان خروج آن‌ها (زمان تحویل گرفتن توسط مشتریان) مشخص می‌باشد و کانتینرهایی که از زمان خروج آن‌ها اطلاعی در اختیار نمی‌باشد. لذا اطلاعات مربوط به این مهم بصورت 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 جداول ۱ تا ۳ نشان داده شده است. همچنین سایر اطلاعات موردنیاز مربوط به پارامترهای ورودی مدل پیشنهادی در جداول ۴ الی ۵ ارایه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۱ : اطلاعات مربوط به زمان تخلیه کانتینرها از کشتی و بلوک‌های ذخیره‌سازی مربوط به کشتی A (کشتی باقی مانده از افق قبل)

t_2				T_1				
r_2		r_1		r_2		r_1		
b	a	b	a	b	a	b	a	
		50	50			*50*	50	K_1
			50				50	K_2
			50				50	K_3
			40				40	K_4

t_4				T_3			
r_2		r_1		r_2		r_1	
b	a	b	a	b	a	b	a
							20
						20	

جدول ۲ : اطلاعات مربوط به زمان تخلیه کانتینرها از کشتی و بلوک‌های ذخیره‌سازی مربوط به کشتیB (کشتی آماده پهلو گیری)

t_2				T_1				
r_2		r_1		r_2		r_1		
b	a	b	a	b	a	b	a	
		50	50			100	50	K_1
			50				50	K_2
			50				40	K_3
			40					K_4

Archive of SID

www.SID.ir

T_4				T_3			
r_2		r_1		r_2		r_1	
b	a	b	a	b	a	b	a
			60				50
			60			50	50
			60				50
			60				40

جدول ۳ : اطلاعات مربوط به زمان تخلیه کانتینرها از کشتی و بلوک‌های ذخیره‌سازی مربوط به کشتی C

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

T_2				T_1				
r_2		r_1		r_2		r_1		
b	a	b	a	b	a	b	a	
			50					K_1
		40	50					K_2
			50					K_3
			50					K_4

T_4				T_3			
r_2		r_1		r_2		r_1	
b	a	b	a	b	a	b	a
	60				50		30
10	60				50	30	
	60				50		
	50				30		

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۴- موجودی اولیه هر بلوک و نوع کانتینرهایی که می‌تواند در هر بلوک ذخیره شوند

V_{ir}		
	r_1	R_2
i_1	0	260
i_2	54	0
i_3	44	0
i_4	24	0

S_{ir}		
	r_1	R_2
i_1	0	1
i_2	1	0
i_3	1	0
i_4	1	0

جدول ۵– مقادیر مربوط به پارامترهای $\widetilde{D}_{tkr}$ ، β_{itr} و $\widetilde{P}_{itr}$

	$\widetilde{D}_{tkr}$							
	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	50	0	100	0	80	50	60	60
k_2	50	0	100	0	50	50	60	60
k_3	40	0	100	0	50	50	60	60
k_4	0	0	90	0	40	30	60	50

Archive of SID

www.SID.ir

ادامه جدول ۵

	β_{itr}							
	i_1		i_2		i_3		i_4	
	r_1	r_2	r_1	r_2	r_1	r_2	r_1	r_2
t_1	0	0	35	0	30	0	35	0
t_2	0	0	30	0	30	0	30	0
t_3	0	0	25	0	30	0	25	0
t_4	0	10	0	0	0	0	0	0

	$\widetilde{P}_{itr}$							
	i_1		i_2		i_3		i_4	
	r_1	r_2	r_1	r_2	r_1	r_2	R_1	r_2
t_1	0	100	0	0	0	0	0	0
t_2	0	60	15	0	10	0	15	0
t_3	0	50	0	0	0	0	0	0
t_4	0	50	0	0	0	0	0	0

جهت مقایسه عملکرد GA با جواب بهینه (یا بهترین جواب) بدست آمده توسط رویکرد شاخه و کران، یازده مساله نمونه در ابعاد کوچک و متوسط و همچنین یازده مساله نمونه دیگر در ابعاد بزرگ؛ توسط هر دو رویکرد حل شد که نتایج بدست آمده بترتیب در جداول (۶) و (۷) نشان داده شده است. معیار مقایسه و سنجش عملکرد مشابه سایر تحقیقات، متوسط مقدار تابع هدف (OFV) و متوسط زمان محاسباتی جهت حصول بهترین جواب بدست آمده (CPU Time) می‌باشد. هر مساله ۱۲ بار

Archive of SID

www.SID.ir

اجرا شده و مقادیر OFV و CPU Time متناظر آن‌ها در جداول مذکور ثبت شده است. حداکثر زمان اجرا (Runtime) برابر ۳ ساعت در نظر گرفته شده است.

در این قسمت نتایج حاصل از حل مسایل نمونه در دودسته ابعاد بزرگ و ابعاد کوچک، با دو رویکرد بهینه و ابتکاری در جداول زیر ارایه می‌گردد. در این دو جدول ابعاد مسایل نمونه با یک روند منطقی افزایش یافته است که بر مبنای آن در هر مساله میزان تابع هدف بدست آمده و نیز زمان حل صرف شده در دو رویکرد بهینه و ابتکاری با یکدیگر مقایسه گردیده و در قسمت راست جدول نیز درصد اختلاف جواب بدست آمده از الگوریتم ژنتیک با رویکرد بهینه نشان داده شده است.

نتایج بدست آمده در جداول (۶) و (۷) نشان می‌دهد که اختلاف نسبی مابین جواب‌های بدست آمده توسط GA و حل بهینه به طور متوسط ۳,۸۸ درصد با انحراف استاندارد ۰,۹۱ می باشد که نتیجه بسیار مطلوبی است. در حالیکه با افزایش ابعاد مساله میزان اختلاف جواب‌ها افزایش نیافته و میزان اختلاف مابین نتایج حل در دو رویکرد دارای روند صعودی نمی‌باشد. از طرف دیگر با توجه به افزایش قابل توجه زمان حل مساله در رویکرد بهینه (با افزایش ابعاد مساله)، و مقایسه آن با افزایش بسیار اندک زمان حل در رویکرد بهینه، می‌توان ادعا نمود که GA توسعه داده شده ازکارایی بسیار بالایی برخوردار بوده و به جهت عدم وجود روند افزایشی در میزان اختلاف جواب‌ها(همانگونه که اشاره گردید)، در ابعاد بزرگ نیز می‌توان به کارایی آن اعتماد نمود. شکل (۵) روند همگرایی GA را برای یک مساله نمونه با ابعاد $B=4,T=4,K=4,R=2$ طی گذشت ۲۰ نسل نشان می‌دهد. این روند در عین حال مبین کاهش تنوع[۲۸] در جمعیت و همگرایی بسوی یک جواب نزدیک به بهینه می‌باشد.

[28] Diversity

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶- نتایج حل مساله در ابعاد کوچک

No.	Sample Problem Information				Optimum solution		GA solution		
	B	*T*	*K*	*R*	CPU Time (Sec.)	OFV	Mean CPU Time(Sec.)	OFV	Gap (%)
1	2	2	2	2	2	0	5	0	0
2	2	2	2	2	35	1.2	7.5	1.2	0
3	4	2	2	2	68	۲۲,	8	2.3	4
4	5	2	2	2	150	2.8	9.2	2.9	2
5	6	2	2	2	240	3	10	3.2	6
6	3	3	3	2	750	4	10.3	4.2	5
7	4	3	3	2	840	4.4	12.4	4.6	4
8	5	3	3	2	980	4.8	14	5	4
9	6	2	2	2	1,120	5.2	16.2	5.5	5
10	4	4	4	2	4,400	5.6	18	5.8	3
11	5	4	4	2	5,740	6	24	6.4	6

جدول ۷- نتایج حل مساله در ابعاد بزرگ

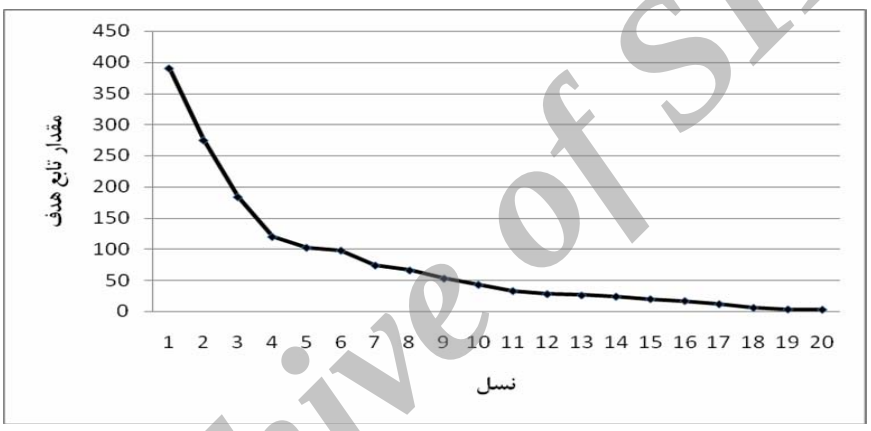
No.	Sample Problem Information				Optimum solution		GA solution		
	B	*T*	*K*	*R*	CPU Time (Sec.)	OFV	Mean CPU Time(Sec.)	OFV	Gap (%)
۱	۶	۴	۴	۲	۰7,65	6.4	30	۷6.	۴
۲	۷	۵	۵	۲	۸۰۰,۱۰	7.8*	80	8.2	۵
۳	۸	۶	۶	۲	۸۰۰,۱۰	*۱۰	150	۴.۱۰	۴
۴	۹	۷	۷	۲	۸۰۰,۱۰	*۱۳,۶	270	.2۱۴	۴
۵	۱۰	۸	۸	۲	۸۰۰,۱۰	*۲۰,۶	310	.8۲۱	۵

Archive of SID

www.SID.ir

6	۱۱	۹	۹	2	۸۰۰,۱۰	*۲۵,۸	360	۲۷	۴
7	۱۲	۱۰	۱۰	2	۸۰۰,۱۰	-	440	.۴۳۵	-
8	۱۳	۱۱	۱۱	2	۸۰۰,۱۰	-	635	.۶۴۸	-
9	۱۴	۱۲	۱۲	2	۸۰۰,۱۰	-	852	.۲۶۰	-
10	۱۵	۱۳	۱۳	2	۸۰۰,۱۰	-	۰۷۹	۶۷	-
11	۱۶	۱۴	۱۴	2	۸۰۰,۱۰	-	۱۱۰۰	۸۰	-

*بهترین جوابی که بعد از ۳ ساعت بدست آمده است



شکل ۵- روند همگرایی GA و کاهش تنوع در نسلهای متوالی برای مساله نمونه با ابعاد $B=4,T=4,K=4,R=2$

۶- نتیجه گیری

در این مقاله، یک مدل عدد صحیح غیرخطی برای حل مساله تخصیص فضای ذخیره‌سازی در یک ترمینال کانتینری نمونه یا به اختصار مساله SSA با فرض تنوع کانتینر ارایه شد. هدف تعدیل بارکاری بین مکان های ذخیره‌سازی کانتینر جهت

Archive of SID

www.SID.ir

افزایش سرعت ذخیره و بازیابی محموله برای عملیات تخلیه و بارگیری است که خود یکی از عوامل اساسی در افزایش بهره وری ترمینال می‌باشد. مزیت عمده مدل پیشنهادی، در نظر گرفتن نوع کانتینر می‌باشد که این موضوع علارغم کاربردهای عملی آن تاکنون در ادبیات مدنظر قرار نگرفته است.

بدلیل ماهیت NP-hard مدل مذکور، یک الگوریتم ژنتیک (GA) توسعه داده شد که به لحاظ نحوه نمایش جواب و طراحی عملگر قابل توجه می باشد. ماهیت مساله مورد بررسی منجر به ارایه یک ساختار چهاربعدی برای نمایش جواب گردید. همچنین بدلیل تعدد محدودیت‌های تساوی در مدل پیشنهادی که پیچیدگی مساله و نحوه طراحی عملگر را دوچندان می‌نماید، از عملگر تقاطع حسابی و همچنین عملگر جهش اصطلاحاً پله‌سنگی برای کاوش فضای جواب استفاده شد. مقایسه بین نتایج بدست آمده توسط GA و رویکرد شاخه و کران، مبین یک اختلاف نسبی حدود ۳ درصد با انحراف استاندارد ۰,۹ می‌باشد که نتیجه بسیار مطلوبی است. علاوه بر این، با افزایش ابعاد مساله میزان اختلاف جوابها افزایش نیافته و میزان اختلاف مابین نتایج حل در دو رویکرد مذکور روند صعودی را نشان نمی‌دهد.

حل مدل پیشنهادی می‌تواند توسط سایر رویکردهای فرابتکاری مورد بررسی قرار گیرد. همچنین با توجه به شرایط واقعی موجود در بنادر تجاری مختلف، توسعه های متفاوتی از مساله SSA را می توان در نظر گرفت. مساله مذکور را می‌توان بگونه ای توسعه داده که همزمان بارکاری صفافه ها در بلوکها نیز مورد نظر قرار گیرد. اطلاعات بدست آمده از مساله SSA جهت انجام سایر عملیات ترمینال مانند حل مساله تخصیص اسکله به شناور مورد نیاز می‌باشد که برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌گردد.

Archive of SID

www.SID.ir

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.

[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