



مرکز ملی باوردهای علمی و فناوری

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

«به نام خدا»

**ارایه یک الگوریتم ژنتیک برای مدل یکپارچه زمان بندی
سیستم های حمل و نقل کانتینر در یک ترمینال دریایی**

**A Genetic Algorithm for the Integrated Scheduling
Model of Container Handling System in a Maritime
Terminal**

فرناز فریدونیان؛ کارشناس ارشد مهندسی صنایع ، دانشگاه تربیت معلم

f.fereidoonian@gmail.com

دکتر ابوالفضل میرزازاده؛ استاد دانشکده مهندسی صنایع،

دانشگاه تربیت معلم

a.mirzazdeh@tmu.ac.ir

چکیده

در این مقاله یک الگوریتم ژنتیک جهت مدل یکپارچه زمان بندی و توالی عملیات تخلیه و بارگیری توسط تجهیزات حمل و نقل در یک ترمینال کانتینری ارایه می شود. این مساله به صورت یک مدل زمان بندی جریان کارگاه ترکیبی¹ (HFSS) در نظر گرفته می شود، که علاوه بر محدودیت های فرم استاندارد مدل، محدودیت های ماشین های موازی غیر یکسان²، روابط پیش نیازی³، زمان

¹ Hybrid Flow Shop Scheduling

² unrelated parallel machine

آماده سازی وابسته به توالی^۴، بلوکه شدن^۵ و محدودیت انتخاب ماشین^۶ را دارا می باشد. با توجه به NP-hard بودن مدل برنامه ریزی، بر جواب های نزدیک به بهینه متمرکز می شویم و یک الگوریتم ژنتیک به عنوان یک روش متاهوریستیک جهت حل این مدل پیشنهاد می گردد. با در نظر گرفتن محدودیت های مذکور، الگوریتم تخصیص کارها به ماشین ها را، در هر مرحله بر مبنای ارزیابی برازش کروموزومها توسط تابع برازندگی انجام می دهد. این مدل علاوه بر محاسبه نتایج اصلی شامل تخصیص، زمان بندی و توالی عملیات و محاسبه زمان تکمیل (makespan)، به محاسبه مدت زمان بلوکه شدن ماشین ها بین مراحل و نرخ تراکم مسیرها می پردازد. به لحاظ اینکه الگوریتم ژنتیک یک الگوریتم تصادفی بوده و کارایی آن به پارامترهای عملکردی بستگی دارد، جهت کالیبره کردن آن، یک طرح آزمایشی عاملی کامل^۷، با به کارگیری تکنیک آنالیز واریانس (ANOVA) اجرا می گردد. نتایج نشان می دهد برخی سطوح پارامترها و عملگرها منجر به جواب های بهتری می شوند. در نهایت با انجام یک مطالعه موردی در بندر شهیدرجایی به تحلیل عملکرد الگوریتم بر مبنای داده های این بندر پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: ترمینال کانتینری، زمان بندی و توالی عملیات، جریان کارگاه ترکیبی، الگوریتم ژنتیک و طراحی آزمایش ها

³ precedence relationship

⁴ sequence dependant setup time

⁵ blocking

⁶ machine eligibility

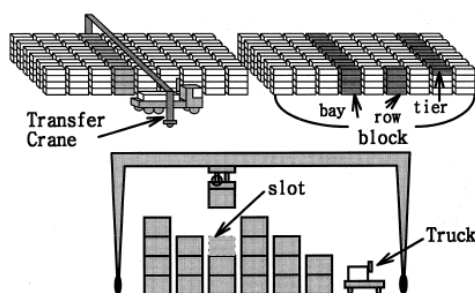
⁷ full factorial experimental design

۱- مقدمه

طی سال های اخیر به دلیل استفاده گسترده از کانتینر در حمل و نقل دریایی شاهد ظهور کشتی های کانتینری با ظرفیت بالا (TEU ۱۴۰۰۰ و بیشتر) بوده ایم. به دنبال رشد روزافزون استفاده از کانتینر در حمل و نقل دریایی، بهره وری ترمینال های کانتینری که در نقطه اتصال حمل و نقل دریایی و خشکی واقع گردیده اند، نسبت به گذشته اهمیت بیش تری یافته است. یک ترمینال کانتینری کارا و بهره ور امکان تخلیه و بارگیری هر چه سریع تر کانتینرها را به جهت ارایه سرویس به کشتی های بیش تر فراهم می سازد. به علاوه نظر به هزینه بالای توقف یک کشتی در بندر و اهمیت این مساله برای شرکت های کشتی رانی، این شرکت ها همواره در تعیین مسیر کشتی ها، معیارهای عملکرد و شاخص های بهره وری به خصوص ظرفیت تخلیه و بارگیری بنادر را به عنوان معیاری جهت برنامه ریزی در انتخاب مسیر قرار می دهند. این مساله منجر به رقابت بین بنادر در ارایه سرویس به موقع به مشتریان شده است، چرا که عدم توجه به این موضوع سبب رو آوردن خطوط کشتی رانی به بنادر کشورهای هم جوار خواهد شد. بر این اساس کاهش زمان سرویس دهی به کشتی ها یا به عبارت دیگر کاهش مدت زمان بین ورود و خروج یک کشتی و افزایش بهره وری و بازده تجهیزات و منابع به عنوان دو هدف اصلی ترمینال های کانتینری شناخته شده اند. دست یابی به این دو هدف علاوه بر تضمین رضایت شرکت های کشتی رانی به سبب ایجاد کارایی عملیاتی، برای ترمینال ها نیز افزایش ظرفیت جابه جایی کانتینر و توان عملیاتی را به همراه خواهد داشت.

سه محوطه اصلی که تشکیل دهنده یک ترمینال کانتینری می باشند عبارتند

از: اسکله ها، محوطه انبارش و پس کرانه و به طور عمومی سه نوع تجهیز شامل: جرثقیل های کانتینری (QC)^۸، تراک ها (YT)^۹ و ترانسستینرها (YC)^{۱۰} در عملیات تخلیه و بارگیری دخیل می باشند. به محض ورود یک کشتی به بندر و پهلوگیری در مقابل اسکله تخصیص داده شده، QCها شروع به تخلیه کانتینر از کشتی و قراردادن آن روی تراک ها می نمایند. تراک ها کانتینر مورد نظر را به محل انبارش از پیش تعیین شده حمل نموده که توسط ترانسستینر برداشته و در مکان مربوطه انبارش می گردد. کانتینرها در بلوک هایی که به طور معمول از ۲۰ تا ۳۰ bay تشکیل شده است (مطابق Error! Reference source not found) و هر bay به نحو معمول شامل شامل ۶ ردیف می باشد (که در هر ردیف تا ارتفاع ۴ یا ۵ کانتینر بسته به ارتفاع ترانسستینرها)، انباشته می گردند.



تصویر ۱- محوطه یارد و نحوه چیدمان کانتینرها

⁸ Quay Crane

⁹ Yard Truck

¹⁰ Yard Crane

هم چنین در بارگیری کانتینرها توسط کشتی، YC ها کانتینرها را برای انتقال از مکان انبارش مربوطه به اسکله مورد نظر، روی تراک قرار داده و سپس کانتینرها از روی تراک ها توسط QC برداشته و به کشتی بارگیری می شوند.

متناظر با هر یک از بخش های ترمینال کانتینری و تجهیزات به کار گرفته شده در آن، زیر فرآیندهایی تعریف می شوند که به یکدیگر مرتبط بوده و هماهنگی میان این زیر فرآیندها و تجهیزات جابه جایی یکی از موارد ضروری در افزایش کارایی ترمینال می باشد. با این وجود بسیاری از تحقیقات انجام شده، جهت سهولت در امر مدل سازی عملیات، تنها یکی از زیر فرآیندهای مذکور را به عنوان یک مساله مورد توجه قرار داده اند. از این دست مسائل می توان به تخصیص اسکله، زمان بندی عملیات QC، YC و YT و تخصیص محل انبارش اشاره کرد. مقوله زمان بندی و توالی عملیات تجهیزات یک از چالش های مهم در برنامه ریزی ترمینال کانتینری در سطح برنامه ریزی عملیاتی می باشد. تخصیص بهینه منابع محدود و تعیین زمان بندی عملیات تجهیزات جابه جایی و حمل و نقل کانتینر به طور مستقیم تعیین کننده کارایی ترمینال کانتینری خواهد بود. این در شرایطی است که مدیریت، کنترل و اجرای چنین سیستمی از پیچیدگی هایی برخوردار بوده و در اکثر موارد مستلزم به کارگیری سیستم های پشتیبان تصمیم گیری توانمند و نرم افزارهای کنترل لجستیکی پیشرفته می باشد؛ در این راستا استفاده از روش های مبتنی بر بهینه سازی مورد توجه زیادی قرار گرفته اند.

این مقاله یک مدل یکپارچه جهت مساله زمان بندی QC، YC و YT ها با هدف مینیمم کردن زمان تکمیل عملیات تخلیه و بارگیری کانتینرها با در نظر

گرفتن عملیات هر سه نوع تجهیز ارایه می دهد. در ادامه این مقدمه، به پیشینه تحقیق و مروری بر مقالات مرتبط با موضوع زمان بندی عملیات در ترمینال کانتینر پرداخته و سپس تعریف مساله و مدل برنامه ریزی ریاضی ارایه شده است. در بخش الگوریتم ژنتیک موارد مربوط به "نحوه نمایش جواب"^{۱۱}، "مکانیزم انتخاب"^{۱۲}، "عملگرهای ادغام و جهش"^{۱۳}، "مکانیزم شروع مجدد"^{۱۴} و "معیار توقف" الگوریتم پیشنهادی تشریح شده اند. در بخش نتایج محاسباتی کالیبراسیون پارامترهای الگوریتم و نتایج حاصل از اجرای مدل و تحلیل عملکرد الگوریتم ارایه شده اند و در بخش آخر به موضوع های پیشنهادی برای تحقیقات آتی پرداخته شده است.

۲- پیشینه تحقیق

مسایل مرتبط با تخصیص و زمان بندی منابع شامل اسکله ها، فضای انبارش و تجهیزات ترمینال کانتینری در سال های اخیر به طور گسترده ای مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته اند. ویس و کاستر^{۱۵} (۲۰۰۳) و استالبوک و ویو^{۱۶} (۲۰۰۸) به مرور جامعی بر تحقیقات مرتبط با زمان بندی عملیات این منابع پرداخته اند. در این جا فقط به مرور آن قسمت از مطالعات انجام شده در حوزه زمان بندی تجهیزات شامل جرثقیل های کانتینری، تراک ها و ترانستینرها می پردازیم. اولین دسته از بررسی های مرتبط با مدل های برنامه ریزی ریاضی و

¹¹ Solution Representation

¹² Selection Mechanism

¹³ Crossover and Mutation Operators

¹⁴ Reproduction scheme

¹⁵ Vis and De Koster

¹⁶ Stahlbock and Voß

الگوریتم های توسعه یافته برای آن هستند تا هر کدام مساله زمان بندی را برای تجهیزات موجود تنها در یکی از زیر فرآیندها، در نظر داشته باشند.

QCها گلوگاه اصلی در کارایی ترمینال کانتینری هستند و برنامه ریزی برای آن ها تعیین کننده مدت زمان بین ورود و خروج یک کشتی در ترمینال می باشد. مرور کاملی از مقالات مرتبط با مساله زمان بندی QCها در مقاله بیرورت و میسل^{۱۷} (۲۰۱۰) ارائه شده است. کیم و پارک^{۱۸} (۲۰۰۴) مساله زمان بندی QCها را یک مساله زمان بندی با m ماشین موازی در نظر گرفته و آن را به صورت برنامه ریزی عدد صحیح مختلط با تابع هدف اتمام هرچه سریع تر عملیات کشتی مدل کردند. برای به دست آوردن جواب بهینه یک الگوریتم شاخه و حد ارائه دادند و یک الگوریتم جستجوی ابتکاری GRASP به دلیل پیچیدگی محاسباتی روش شاخه و حد به کار گرفته شد. در ان مدل کارها معادل با کانتینرهای متعلق به یک گروه که در کشتی مجاور هم می باشند و تحت عنوان خوشه تعریف می شوند، در نظر گرفته شدند.

دسته دیگر مسایل در حوزه زمان بندی عملیات ترانستینرها می باشند. در این خصوص می توان به مقاله ژانگ و همکاران^{۱۹} (۲۰۰۴) اشاره کرد، که استقرار پویای ترانستینرها را مورد بررسی قرار دادند و یک مدل برنامه ریزی مختلط با تابع هدف مینیمم کردن زمان تاخیر کارها ارائه شد. ان جی و ماک^{۲۰} (۲۰۰۵) مساله زمان بندی یک YC جهت انجام مجموعه ای از کارهای تخلیه و بارگیری

¹⁷ Bierwirt and Meisel

¹⁸ Kim and Park

¹⁹ Zhang et al.

²⁰ Ng and Mak

را به صورت یک مساله تک ماشینی با هدف مینیمم کردن مجموع زمان های تکمیل در حالتی که کارها زمان آماده به کاری (Ready Time) متفاوت دارند مدل نمودند و یک الگوریتم شاخه و حد جهت یافتن جواب پیشنهاد شد. ان جی^{۲۱} (۲۰۰۵) یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط (MIP) جهت زمان بندی چندین YC با لحاظ کردن محدودیت تداخل بین کرین ها ارایه و یک الگوریتم هیوریستیک مبتنی بر برنامه ریزی پویا جهت حل مساله پیشنهاد نمودند. ماک و سان^{۲۲} (۲۰۰۹) یک الگوریتم ترکیبی از ژنتیک و جستجوی تابو جهت زمان بندی YC ها با هدف مینیمم کردن زمان تکمیل کار توسعه دادند.

هم چنین تراک ها که جهت انتقال کانتینرها از اسکله به یارد مورد استفاده قرار می گیرند، به دلیل ارایه سرویس هم به QC ها و هم به YC ها از تجهیزاتی هستند که کارا بودن استراتژی تخصیص آن ها یکی از عناصر موثر بر عملکرد کل سیستم می باشد. کائو و همکاران^{۲۳} (۲۰۰۸) یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح برای زمان بندی توأم YT ها و تخصیص فضای انبارش کانتینرهای تخلیه توسعه دادند. زمان انتظار برای کانتینرها در اسکله و یارد در این مدل در نظر گرفته شده است و با توجه به پیچیدگی محاسباتی مساله یک الگوریتم ژنتیک و آزمند (Greedy) برای دستیابی به جواب های نزدیک به بهینه طراحی شد. ان جی و سایرین مساله زمان بندی مجموعه ای از تراک ها را با هدف مینیمم کردن زمان تکمیل مورد بررسی قراردادند. در این مدل زمان پردازش کارها که معادل با سفر تراک ها می باشند وابسته به توالی انجام آن ها بوده و زمان آماده بودن

²¹ Ng

²² Mak and Sun

²³ Cao et al.

آن‌ها در سیستم، متفاوت از یکدیگر است و برای حل این مساله یک الگوریتم ژنتیک پیشنهاد شد. مساله زمان بندی چندین QC و مجموعه ای از YT‌ها توسط بیش^{۲۴} (۲۰۰۳) مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه این مدل با هدف مینیمم سازی ماکزیمم زمان لازم ارایه سرویس به مجموعه ای از کشتی‌ها می‌باشد که عملیات تخلیه و بارگیری را توأمأ در نظر گرفته است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود تمرکز اکثر بررسی‌های پیشین به دلیل پیچیدگی‌های محاسباتی تنها روی یکی از مسایل تصمیم‌گیری عملیاتی در ترمینال کانتینری بوده است. حال آن‌که همگامی میان سیستم‌های مختلف جابه‌جایی نظیر QC، YC و YT‌ها امری ضروری در کارایی ترمینال محسوب می‌شود. بنابراین دسته دوم مقاله‌ها که تعداد اندکی را شامل می‌شوند، مدل‌هایی هستند که مساله زمان بندی را به صورت یکپارچه با لحاظ کردن انواع مختلف تجهیزات در نظر گرفته‌اند. در این میان چن و همکاران^{۲۵} (۲۰۰۳) یک مدل یکپارچه جهت زمان بندی انواع تجهیزات پیشنهاد کردند؛ و یک الگوریتم جستجوی تابو جهت یافتن جواب مدل طراحی شد. الگوریتم جستجوی تابو به دلیل آن‌که یک الگوریتم مبتنی بر جمعیت نمی‌باشد در جستجوی مناطق کاوش نشده در فضای جواب ضعیف، اما به دلیل یه کارگیری هیوریستیک‌های جستجوی محلی، در جستجوی همسایگی جواب‌های فعلی خوب عمل می‌کند. زنگ و یانگ^{۲۶} (۲۰۰۹) یک روش بهینه-شبهه سازی را برای زمان بندی فقط عملیات بارگیری توسعه دادند. روش پیشنهادی به این صورت عمل می‌کند که

²⁴ Bish

²⁵ Chen et al.

²⁶ Zeng and Yang

ابتدا یک توالی از کارها براساس یکی از قوانین تخصیص مثل کوتاه ترین یا طولانی ترین زمان پرداز (SPT/LPT) ایجاد می کند سپس این توالی را با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهبود می دهد و جهت ارزیابی برآزش تابع هدف توالی به دست آمده از یک مدل شبیه سازی بهره می گیرد و در این میان جهت کاهش جواب های ورودی به مدل شبیه سازی، با بهره گیری از شبکه های عصبی به فیلتر کردن جواب هایی که انتظار می رود مناسب نباشند، می پردازد. یکی از معایب این مدل زمان محاسبه های بالای آن به دلیل وجود مکانیزم شبیه سازی می باشد. کلیه مدل ها و الگوریتم های مذکور با هدف ایجاد هماهنگی و یکپارچگی در زمان بندی عملیات توسعه یافته اند، با این وجود مواردی نظیر چگونه با محدودیت ها و روابط متقابل پیچیده برخورد کنیم و یا این که چگونه کارایی محاسباتی را بهبود بخشیم در زمره مسائلی می باشند که متخصصان در این زمینه را به چالش کشیده اند.

این مقاله یک مدل یکپارچه جهت مساله زمان بندی YC ، QC و YT ها را ارائه می دهد که هدف آن مینیمم سازی زمان تکمیل عملیات کانتینرهای صادره و تخلیه کانتینرهای وارده با لحاظ کردن هر سه نوع تجهیز می باشد. این مدل شامل ماشین های موازی با زمان های پردازش متفاوت، روابط پیش نیازی در توالی تخلیه و بارگیری کانتینرها، زمان آماده سازی وابسته به توالی و محدودیت انتخاب ماشین می باشد. زمان بلوکه شدن که معادل با زمان انتظار تجهیزات هنگام تحویل کانتینر به تجهیز مرحله بعد تعریف می شود و هم چنین نرخ تراکم مسیرها در این مدل محاسبه می گردد. در سایر تحقیقات قبلی تخصیص کارها در مرحله اول براساس قانون اولین ماشین در دسترس (FAM) و در سایر مراحل با به کارگیری قانون First Come First Served

(FCFS) انجام گرفته است. با این وجود در جریان کارگاه ترکیبی با ماشین های موازی غیر یکسان اولین ماشین در دسترس ممکن است سبب دیرتر تکمیل شدن یک کار در مقایسه با تخصیص آن به سایر ماشین ها شود. به علاوه که با وجود زمان آماده سازی وابسته به توالی این مساله حادثر خواهد شد. بنابراین در روش پیشنهادی تخصیص کارها به ماشین ها در هر مرحله در حین ارزیابی تابع هدف انجام می گیرد.

۳- تعریف مساله و مدل سازی ریاضی

از آنجا که در هر مساله زمان بندی سه عنصر کار، ماشین و عملیات از عناصر لاینفک آن مساله می باشند، هر یک از آن ها به شرح زیر تعریف می شوند:

۱. کار: هر کانتینر یک سری عملیات جابه جایی را طی خواهد کرد، در نتیجه هر کانتینر به عنوان یک کار در نظر گرفته می شود. هر کار به صورت یک فرآیند کامل تخلیه و بارگیری تعریف می شود، در نتیجه دو نوع کار اصلی داریم: تخلیه و بارگیری.

۲. ماشین ها: سه مجموعه متفاوت از ماشین ها که سه مرحله از HFS را ایجاد خواهند کرد عبارتند از: QCها، YCها و YTها.

۳. عملیات: هر کاری سه مرحله را طی خواهد کرد و در نتیجه از سه عملیات به این شرح تشکیل می شود: عملیات انتقال کانتینر از/به کشتی که توسط QC انجام می شود. عملیات انتقال و انبارش در سطح محوطه که توسط YCها انجام می گیرد و عملیات انتقال بین دو مرحله فوق که توسط تراک ها انجام می شود.

فرض های مساله نیز به این شرح هستند :

۱. تمامی تراک ها در ترمینال از ظرفیت یکسانی برخوردار بوده و در لحظه قابلیت جابه جایی تنها یک کانتینر را دارا می باشند.
۲. زمان انجام عملیات توسط تراک ها به صورت قطعی بوده و در سفر های با بار و خالی یکسان می باشد.
۳. در ترمینال کانتینری، کانتینرهای صادره و وارده در یک بلوک ادغام نمی شوند. در ترمینال مورد بررسی این تحقیق YC ها از نوع RTGC بوده، بنابراین منطقی است که فرض شود هیچ ترانسستینری بین بلوک های کانتینرهای صادره و وارده مشترک نمی باشد. در نتیجه یک ترانسستینر در یک بلوک تنها یکی از عملیات انبارش و یا بازیابی را انجام خواهد داد.
۴. زمان انتقال کانتینرها بین جرثقیل ها و تراک ها به عنوان زمان پردازش جرثقیل ها در نظر گرفته می شود.
۵. از آن جا که مسیرها به عنوان محدودیت در نظر گرفته نمی شوند، تداخل میان تجهیزات به حساب نمی آید، اما نرخ تراکم مسیرها محاسبه می شود.
۶. برای یک کشتی که هم عملیات تخلیه و هم عملیات بارگیری دارد، عملیات بارگیری آن زمانی می تواند آغاز شود که عملیات تخلیه آن کامل شده باشد. لذا در مورد یک کشتی خاص مساله زمان بندی عملیات تخلیه و بارگیری به صورت دو مساله مجزا در نظر گرفته می شود.
۷. همان طور که در مقاله زنگ و یانگ اشاره شده جهت تخصیص تراک ها به

QCها دو سیاست وجود دارد: تک جرثقیل گرا^{۲۷} و چند جرثقیل گرا^{۲۸}. در حالت تک جرثقیل گرا زمان که یک تراک کانتینر تخلیه شده را به مکان انبارش حمل می‌کند، در مسیر بازگشت سفر بدون باری از یارد به سمت اسکله طی خواهد کرد تا کانتینر بعدی را حمل کند. در حالی که در سیاست چند جرثقیل گرا که در این مقاله مد نظر می‌باشد، تراک‌ها بین مجموعه‌ای از کشتی‌های دارای عملیات تخلیه و بارگیری مشترک می‌باشند. در نتیجه جهت مینم سازی زمان سرویس نهایی و کاهش سفرهای خالی، سفر تراک با کانتینرهای تخلیه با کانتینرهای بارگیری ادغام می‌گردد. برای مثال زمانی که تراک کانتینر تخلیه شده را به مکان انبارش حمل می‌کند، در مسیر بازگشت به جای این که سفر خالی به سوی اسکله داشته باشد، یک کانتینر را نیز جهت بارگیری از مکان انبارشی دیگر، به سمت اسکله حمل خواهد کرد.

در ادامه مشاهده می‌گردد که فرآیند ترمینال کانتینر مشابه مدل HFS بوده و علاوه بر ویژگی‌های فرم استاندارد، این مدل دارای ویژگی‌های منحصر به فرد زیر می‌باشد:

۱. وجود ماشین‌های موازی غیر یکسان و محدودیت انتخاب ماشین: در این مساله ماشین‌هایی با نام‌های تجاری مختلف اما با عملکرد یکسان وجود دارند، که سبب می‌شود سرعت پردازش در بین ماشین‌های یک مرحله بسته به نوع آن‌ها متفاوت باشد. بنابراین محدودیت ماشین‌های موازی غیریکسان در این مساله برقرار می‌باشد. به علاوه دامنه حرکت QCها برای جلوگیری از تصادم

²⁷ Single crane oriented

²⁸ Multiple crane oriented

محدود بوده و یک QC مشخص فقط می تواند عملیات زیر مجموعه ای از کانتینرها در مکان های معلومی روی کشتی را پوشش دهد. هم چنین یک YC خاص تنها می تواند عملیات زیر مجموعه ای از کانتینرها را در بلوک ها پوشش دهد. بنابراین این مساله زمان بندی در شرایطی مدل می شود که محدودیت انتخاب ماشین نیز برقرار باشد.

۲. محدودیت پیش نیازی بین کارها: هنگام عملیات تخلیه توسط QC، لازم است کانتینرهای روی عرشه قبل از قبل از کانتینرهایی که در انبارهای کشتی قرار دارند تخلیه شوند. به همین ترتیب بارگیری کانتینرهای انبار قبل از کانتینرهای روی عرشه انجام می شود.

۳. محدودیت زمان آماده سازی وابسته به توالی: در ترمینال کانتینری تجهیزات پس از تحویل کانتینر به مرحله بعد، جهت دریافت کانتینر بعدی سفر بدون باری^{۲۹} را تا رسیدن به کانتینر بعدی طی خواهند کرد، این مدت زمان به عنوان زمان آماده سازی وابسته به توالی بین کارها در نظر گرفته می شود. به عنوان مثال زمانی که تراک یک کانتینر تخلیه را به یک مکان انبارش حمل می کند و پس از تحویل آن باید یک سفر خالی به سمت اسکله یا مکان انبارش دیگر جهت حمل کانتینر بعدی طی کند، این مدت زمان سفر به عنوان زمان آماده سازی وابسته به توالی در نظر گرفته می شود.

۴. محدودیت بلوکه شدن کار و ماشین: زمانی که یک تجهیز در حال پردازش یک کار می باشد، تا زمان تکمیل نشدن آن کار، تجهیز مرحله قبل آن مجاز به

²⁹ Empty Trip

تحويل کانتینر خود به آن ماشین نمی باشد. که در این حالت زمان انتظار کار و بلوکه شدن ماشین تخصیصی به آن کار هم زمان روی خواهند داد.

با توجه به شرح فوق مساله زمان بندی سیستم جابه جایی کانتینر می تواند به صورت یک مساله جریان تک مسیره کارگاهی با ماشین های موازی در هر مرحله و در حقیقت به صورت یک مساله زمان بندی جریان کارگاه ترکیبی (HFS) در نظر گرفته شود. در مسایل HFS مجموعه ای از n کار وجود دارد که $N = \{1, 2, \dots, n\}$ می بایستی در S مرحله متوالی پردازش شوند. در هر مرحله S تعداد m_s ماشین موازی غیر یکسان که $m_s \geq 1$ جهت پردازش کارها وجود دارد و لازم است هر کاری از همه مراحل عبور کرده و در هر مرحله توسط یک ماشین پردازش شود. جریان کارها در این کارگاه تک مسیره می باشد. P_{ism} بیانگر زمان پردازش کار i در مرحله S توسط ماشین m می باشد. هم چنین زمان آماده سازی مبتنی بر ماشین روی هر ماشین m در مرحله S جهت پردازش کار i پس از پردازش کار j وجود دارد و نیز برای هر کار i در هر مرحله S ، مجموعه M_{is} شامل ماشین های مجاز به پردازش کار i می باشد. در این مدل معیار بهینه سازی را مینیمم کردن Makespan که به صورت مدت زمان لازم برای اتمام عملیات کارها و یا معادل با ماکزیمم مدت زمان تکمیل C_{max} تعریف می شود، در نظر می گیریم. این معیار در ضمن این که افزایش بهره وری تجهیزات را به همراه دارد سبب مینیمم کردن مدت زمان توقف یک کشتی در بندر و زمان انتظار کانتینرها خواهد شد.

مسایل HFS در اکثر حالت ها NP-hard می باشند. گوپتا³⁰ (۱۹۸۸) نشان

³⁰ Gupta

داد که جریان کارگاهی با فقط دو مرحله و در حالتی که تنها یکی از مراحل شامل دو ماشین باشد، یک مساله NP-hard می باشد. به علاوه در حالت های خاص زمانی که در هر مرحله یک ماشین وجود دارد که تحت عنوان FS شناخته می شوند و در حالت هایی که از یک مرحله اما تعدادی ماشین موازی تشکیل شده اند که تحت عنوان مدل های با ماشین های موازی شناخته می شوند، نیز NP-hard بودن ثابت شده است (گری و جانسون^{۳۱} (۱۹۷۹)).

براساس نوتاسیون سه تایی معروف $\alpha | \beta | \gamma$ برای مسایل زمان بندی و توسعه آن توسط گراهام و همکاران (۱۹۷۹) برای مسایل HFS نمایش این مساله به صورت $FH3 / ((R m_s)_{s=1}^S) / prec, block, S_{sd}, M_j / C_{max}$ خواهد بود.

صورت فوق بیانگر یک مساله کارگاه جریان ترکیبی سه مرحله ای با تعداد m_s ماشین موازی غیریکسان در هر مرحله، روابط پیش نیازی، زمان آماده سازی وابسته به توالی و محدودیت بلوکه شدن و انتخاب ماشین با هدف مینیمم کردن ماکزیمم زمان تکمیل می باشد. مسایل HFS در هر دو بعد تئوری و عملی همواره مورد توجه بوده اند. رویز و رودریگز^{۳۲} (۲۰۰۹) الگوریتم ژنتیکی را برای یک مساله HFS در شرایط زمان آماده سازی وابسته به توالی، وجود محدودیت انتخاب ماشین و ماشین های موازی غیر یکسان پیشنهاد دادند. غلامی و همکاران (۲۰۰۹) مساله HFS را با زمان آماده سازی وابسته به توالی و در حالتی که احتمال از کارافتادن ماشین آلات وجود دارد با هدف مینیمم کردن makespan بررسی کردند. جهت حل مدل از الگوریتمی تحت عنوان

³¹ Garey and Johnson

³² Rodriguez and Ruiz

Random Key Genetic Algorithm و یک مکانیزم شبیه سازی بهره گرفتند. چن و همکاران (۲۰۰۷) یک مدل یکپارچه جهت زمان بندی انواع تجهیزات در یک ترمینال کانتینری مبتنی بر HFS توسعه دادند. اما جهت حل مدل یک الگوریتم جستجوی تابو پیشنهاد گردید که به دلیل این که این الگوریتم مبتنی بر جمعیت نمی باشد در جستجوی مناطق کاوش نشده جواب ضعیف عمل می کند. زنگ و یانگ این مساله را به صورت HFS در نظر گرفتند اما فقط کانتینرهای صادره در آن لحاظ گردید که البته این موضوع با سیاست چند جرثقیل گرا برای YTها در تضاد می باشد. به علاوه در هر دو مقاله اخیر تخصیص کارها به ماشین ها را در مراحل دوم و سوم براساس قانون FAM بدون در نظر گرفتن زمان پردازش متفاوت تجهیزات و زمان آماده سازی وابسته به توالی انجام شده است.

در این قسمت به تشریح مدل برنامه ریزی ریاضی مساله براساس نوتاسیون زیر می پردازیم:

N : مجموعه کانتینرهای (کارها) مورد نظر $N = \{1, 2, \dots, n\}$

i, j : اندیس متناظر با هر کانتینر (کار) $i, j = 1, 2, \dots, n = |N|$

$i, j \in N$

s : اندیس متناظر با هر مرحله $s = 1, 2, 3$

m : اندیس متناظر با ماشین ها $m = 1, 2, \dots, m_s$

M_{is} : مجموعه ماشین هایی که مجاز به پردازش کار i در مرحله s

E_m : مجموعه کانتینرهایی که می توانند توسط ماشین m پردازش شوند

P : مجموعه زوج کانتینرهایی که بین آن ها روابط پیش نیازی وجود دارد.

زمانی که کار i می بایستی قبل از کار j انجام پذیرد: $(i, j) \in P$

P_{ism} : زمان پردازش کانتینر i در مرحله s توسط ماشین m

M : ثابت به اندازه کافی بزرگ

متغیرهای تصمیم مساله به شرح زیر می باشند:

$$x_{ism} = \begin{cases} 1 & \text{اگر عملیات کانتینر } i \text{ در} \\ 0 & \text{مرحله } s \text{ به ماشین } m \text{ تخصیص داده شده باشد} \end{cases}$$

درغیر این صورت

$$z_{ijsm} = \begin{cases} 1 & \text{اگر عملیات کانتینر } j \text{ در مرحله } s \text{ روی ماشین } m \text{ بلافاصله بعد از} \\ 0 & \text{کانتینر } i \text{ انجام گیرد} \end{cases}$$

درغیر این صورت

t_{is} : زمان شروع عملیات کانتینر i در مرحله s می باشد.

C_{\max} : زمان تکمیل عملیات آخرین کانتینر می باشد.

با تعاریف فوق مدل برنامه ریز عدد صحیح مختط به صورت زیر می باشد:

$$\text{Minimize } C_{\max} = \max_{i,s,m} (t_{is} + p_{ism})$$

(۱)

$$\text{Subject to } \sum_{m \in M_{is}} x_{ism} = 1 \quad \forall i \in N, s = 1, 2, 3$$

(۲)

$$t_{is} \geq 0 \quad \forall i \in N, s = 1, 2, 3$$

(۳)

$$t_{is} + p_{ism} \leq t_{i(s+1)} \quad \forall i \in N, s = 1, 2, 3, m \in M_{is}$$

(۴)

$$\sum_{j \in E_m} z_{ijsm} \leq 1 \quad \forall i \in E_m, s = 1, 2, 3, m \in M_{is}$$

(۵)

$$\sum_{j \in E_m} z_{jism} \leq 1 \quad \forall i \in E_m, s = 1, 2, 3, m \in M_{is}$$

(۶)

$$z_{ijsm} + z_{jism} \leq 1 \quad \forall i, j \in E_m, s = 1, 2, 3, m \in M_{is}$$

(۷)

$$x_{ism} - 0.5 \leq 0.5(z_{ijsm} + z_{jism}) \leq x_{ism} \quad \forall i, j \in E_m, s = 1, 2, 3, m \in M_{is}$$

(۸)

$$t_{i(s+1)} + w_{ijsm} \leq t_{js} + M(1 - z_{ijsm}) \quad \forall i, j \in E_m, s = 1, 2, 3, m \in M_{is}$$

(۹)

$$t_{is} \leq t_{js} \quad \forall i, j \in B, s = 1, 2, 3,$$

(۱۰)

$$x_{ism}, z_{ijsm} = 0 \text{ or } 1 \quad \forall i, j \in N, s = 1, 2, 3, m \in M_{is}$$

(۱۱)

با توجه به هدف مساله که دستیابی به برنامه زمان بندی عملیات ماشین ها با تعیین توالی و زمان بندی هر کار روی هر ماشین جهت مینیمم کردن ماکزیمم زمان تکمیل می باشد؛ متغیر تصمیم x_{ism} تخصیص کارها به ماشین ها، z_{ijsm} توالی کارها و t_{is} زمان شروع هریک از کارها را تعیین خواهد نمود. در مدل فوق تابع هدف (۱) عبارت است از مینیمم کردن makespan یا ماکزیمم زمان تکمیل. محدودیت (۲) تضمین می کند هر کار در هر مرحله توسط تنها یک ماشین انجام می گیرد. محدودیت (۳) شروع عملیات هر کار بعد از زمان صفر را نشان می دهد. در محدودیت (۴) عملیات یک کانتینر در یک مرحله، زمانی می تواند آغاز گردد که عملیات آن در مرحله قبلی به پایان رسیده باشد و جهت حفظ ترتیب مراحل عملیات می باشد. محدودیت (۵) و (۶) دلالت بر این دارند که یک کار حداکثر یک کار پیش نیاز یا پس نیاز روی یک ماشین خواهد داشت. در محدودیت (۷) اگر کار i پیش نیاز کار j باشد، هم زمان نمی تواند پس نیاز آن هم باشد. محدودیت (۸) تضمین می کند زمانی که $z_{ijsm} + z_{jism} = 1$ ، حتماً $x_{ism} = 1$ خواهد بود. محدودیت (۹) هم زمان در برگیرنده زمان آماده سازی وابسته به توالی و بلوکه شدن می باشد. به این صورت که اگر کار j بلافاصله بعد از کار i روی ماشین m در مرحله s قرار گرفته باشد، زمان شروع این کار در مرحله s بزرگ تر از زمان شروع کار i در مرحله $s+1$ خواهد بود (که به معنای آزاد شدن ماشین m در مرحله s می باشد) که به آن مدت زمان آماده سازی بین کار i و j در مرحله s اضافه شده باشد. محدودیت

(۱۰) دلالت بر روابط پیش نیازی بین کانتینرها دارد. محدودیت (۱۱) نیز صفر و یک بودن متغیرهای تصمیم را نشان می دهد.

همان طور که ذکر شد مسایل HFS ، NP-hard می باشند؛ وجود تعداد محدودیت های زیاد در ابعاد کم مساله و افزایش تعداد متغیرها و محدودیت ها با بزرگ مقیاس شدن مساله مؤید این موضوع می باشد. لذا با استفاده از روش های دقیق و رایج بهینه سازی قادر به یافتن جواب بهینه برای مساله فوق نیستیم و لازم است از الگوریتم هایی که جواب نزدیک به بهینه ارایه می دهند استفاده کنیم. در این جا از الگوریتم ژنتیک استفاده می گردد. GA یک الگوریتم جستجوی تصادفی می باشد که با جمعیتی از جواب ها شروع به جستجو نموده که این ویژگی شانس رسیدن به جواب بهینه کلی (Global optimum) و جلوگیری از به دام افتادن در جواب های بهینه محلی (Local optimum) را افزایش می دهد. به علاوه حفظ بیش از یک جواب در حافظه سبب می شود که الگوریتم بتواند با ادغام این جواب ها به جواب های بهتری برسد.

۴- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یکی از تکنیک های جستجوی شناخته شده جهت یافتن جواب مسایل بهینه سازی می باشد که توسط هلند^{۳۳} (۱۹۷۵) ارایه گردید. در این الگوریتم کروموزوم ها جواب های کد شده می باشند که تحت عنوان ژنوم یا افراد (individuals) شناخته می شوند. مجموعه جواب های اولیه، یک

³³ John Holland

جمعیت (population) را تشکیل می دهند. برای هر یک از افراد جمعیت یک مقدار برازندگی (fitness value) وجود دارد که میزان کیفیت جواب را اندازه گیری می نماید. جواب ها نسل به نسل با اعمال عملگرهای ژنتیکی جهت یافتن جواب بهینه یا نزدیک به بهینه تکامل می یابند. سه عملگر ژنتیکی که پیوسته به کار گرفته می شوند عبارتند از: مکانیزم انتخاب، عملگر ادغام و جهش. مکانیزم انتخاب تعیین خواهد کرد که کدام یک از کروموزوم های فعلی جمعیت والد را تشکیل خواهند داد. عملگر ادغام از دو کروموزوم انتخاب شده کروموزوم های نسل بعد را ایجاد می کند. عملگر جهش با تغییر ژن های یک کروموزوم به صورت تصادفی سبب پیدایش کروموزوم هایی با ترکیب جدیدتری از ژن ها در نسل بعد می گردد. تکامل هر یک از جواب ها در طی چندین نسل تا رسیدن به معیار توقف ادامه می یابد. در این جا روشی که توسط رویز و ماراتو^{۳۴} (۲۰۰۶) ارایه شد، که تخصیص کارها به ماشین ها در هر مرحله با به کارگیری تابع برازندگی صورت می گیرد را دنبال می کنیم. در این روش یک کار در یک مرحله به ماشینی تخصیص داده می شود که در زودترین زمان کار را به اتمام برساند، در شرایطی که زمان های پردازش متفاوت، زمان های آماده سازی وابسته به توالی، محدودیت انتخاب ماشین، بلوکه شدن و روابط پیش نیازی بین کارها لحاظ شده است.

۴-۱- نحوه نمایش جواب، ارزیابی و تولید جمعیت اولیه

در این الگوریتم یک جواب به صورت π که یک جایگشت یا یک توالی از n عدد صحیح می باشد، نمایش داده می شود. که هر عدد صحیح متناظر با یک

³⁴ Ruiz and Maroto

کانتینر خواهد بود. در این توالی کار موجود در مکان i ام را $\pi(i), i \in N$ نمایش می دهیم. هر کاری باید از همه مراحل (سه مرحله در عملیات تخلیه و بارگیری) عبور کند، بنابراین برای هر کار سه عملیات وجود دارد. در ادامه جهت محاسبه C_{\max} موارد زیر تعریف می شوند:

$C_{\pi(i),s}$: زمان تکمیل کار $\pi(i)$ (کاری که در مکان i ام در توالی قرار دارد) در

مرحله s به طوری که $s=1,2,3$

L_{sm} : آخرین کاری که به ماشین m در مرحله s تخصیص داده شده است.

با در نظر گرفتن تمام کارها به ترتیب در π پیش می رویم و برای هر کار سه مرحله را طی خواهیم کرد تا ماشینی را بیابیم که با لحاظ کردن زمان های پردازش متفاوت و زمان آماده سازی وابسته به توالی، محدودیت انتخاب ماشین و بلوک شدن یک کار در یک مرحله بر روی یک ماشین، بتواند آن کار را زودتر انجام دهد. بنا براین برای هر کار $\pi(i)$ و مرحله s رابطه زیر که همان تابع برازندگی در الگوریتم ژنتیک خواهد بود را محاسبه خواهیم کرد:

$$C_{\pi(i),s} = \min_{\substack{m=1 \\ m \in M_{is}}}^{m_s} \left\{ \max \left\{ C_{L_{sm},s} + W_{L_{sm},\pi(i),s}; C_{\pi(i),s-1} \right\} + P_{\pi(i),s,m} \right\} \quad (12)$$

در این عبارت $W_{L_{sm},\pi(i),s}$ بیانگر زمان آماده سازی ماشین m در مرحله s در حالتی که کار $\pi(i)$ بعد از پردازش آخرین کاری که به این ماشین تخصیص داده شده است، L_{sm} ، انجام می گیرد. مقادیر اولیه در رابطه فوق به صورت $L_{sm} = C_{\pi(i),0} = C_{.,s} = W_{0,\pi(i),s} = 0$ می باشند. توجه شود که در یک مرحله s ، تنها ماشین هایی از مجموعه ماشین های آن مرحله m_s در نظر گرفته خواهند شد که مجاز به انجام عملیات کار $\pi(i)$ می باشند $m \in M_{is}$. زمانی که همه

کارها به ماشین ها در همه مراحل تخصیص داده شود makespan به صورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$C_{\max} = \max_{i=1}^n \{C_{\pi(i),3}\}$$

با این محاسبه های الگوریتم ژنتیکی خواهیم داشت که با جایگشتی از کارها به عنوان جواب های کد شده کار کرده، سپس تخصیص کارها به ماشین ها در تمامی مراحل با توجه به ارزیابی برازش کروموزوم ها توسط تابع برازندگی و مقدار به دست آمده برای C_{\max} انجام می گیرد. به این ترتیب هم تخصیص و هم تعیین توالی، هم زمان در این تابع لحاظ گردیده است. با به کار گیری رابطه (۱۲) دو حالت زیر ممکن است رخ دهد:

۱. $C_{L_{sm},s} + W_{L_{sm},\pi(i),s} < C_{\pi(i),s-1}$. در این حالت عملیات کار $\pi(i)$ در مرحله s به محض تمام شدن عملیاتش در مرحله $s-1$ آغاز می گردد. بلوکه شدن کار و ماشین در مرحله $s-1$ نخواهیم داشت.

۲. $C_{L_{sm},s} + W_{L_{sm},\pi(i),s} > C_{\pi(i),s-1}$. در این حالت کار $\pi(i)$ به اندازه $C_{L_{sm},s} + W_{L_{sm},\pi(i),s} - C_{\pi(i),s-1}$ در مرحله $s-1$ در انتظار می ماند و بلوکه شدن کار و ماشین را در زمان انتقال به مرحله s خواهیم داشت.

لازم است تولید جمعیت اولیه با حفظ روابط پیش نیازی کارها انجام گیرد. در این مساله روابط پیش نیازی مبتنی بر عملیات QC ها می باشد و متناظر با هر QC یک گروه پیش نیازی قابل شناسایی می باشد. برای مثال (۱۳۰-۱۲۱) $(120-101) < QC2$: بیانگر آن است که QC۲ می بایست

عملیات کانتینرهای ۶۱ تا ۱۰۰ را که در انبارها^{۳۵} انبارش می‌گردند را قبل از عملیات کانتینرهای ۱۰۱ تا ۱۲۰ که بر روی عرشه قرار خواهند گرفت به انجام رساند و سپس عملیات کانتینرهای ۱۲۱ تا ۱۳۰ که کانتینرهای خالی هستند. بنابراین جمعیت اولیه را به صورت تصادفی با جایگشتی از گروه های پیش‌نیازی و در داخل گروه‌ها با جایگشت کانتینرهایی که بین آن‌ها روابط پیش‌نیازی وجود ندارد تولید می‌کنیم، به جز تنها یک کروموزوم که توسط هیوریستیک NEH اصلاح شده‌ای تولید خواهد شد.

۴-۲- الگوریتم NEH

الگوریتم NEH توسط نواز و همکاران (۱۹۸۳)^{۳۶} پیشنهاد گردید. این الگوریتم بر این فرض مبتنی است که یک کار با بیش‌ترین مجموع زمان‌های پردازش از اولویت بالاتری نسبت به کاری با مجموع زمان پردازش کم‌تر برخوردار می‌باشد. در این هیوریستیک ابتدا کارها بر حسب مجموع زمان‌های پردازش‌شان در همه مراحل، به ترتیب نزولی مرتب می‌شوند، سپس الگوریتم براساس ترتیب به دست آمده و با استفاده از مفهوم توالی جزئی (Partial Sequencing) به جستجوی جواب می‌پردازد. یک توالی از اضافه نمودن هر بار یک کار از کارهای برنامه ریزی نشده به توالی جزئی، ایجاد می‌گردد. به این صورت که اگر k کار در توالی جزئی قرار گرفته باشند، برای ورود کار $k+1$ ام به توالی بهترین توالی جزئی از بین $k+1$ توالی جزئی ممکن را بر می‌گزینیم. چرا که کار جدید را در $k+1$ مکان می‌توان قرارداد و پس از یافتن بهترین مکان برای

³⁵ Holds

³⁶ Nawaz et al.

این کار با توجه به makespan ایجاد شده، آن توالی پذیرفته و ثابت در نظر گرفته می شود، تا درج کارهای باقیمانده برنامه ریزی نشده در مکان های ممکن این توالی، مطابق رویه ذکر شده ارزیابی شود. اما به دلیل آن که این جواب نیز می بایستی با حفظ روابط پیش نیازی ایجاد شود، به جای محاسبه مجموع زمان پردازش هر یک از کارها، جمع زمان های پردازش کل کارهای متعلق به یک گروه پیش نیازی را محاسبه و سپس این گروه ها را بر اساس زمان به دست آمده به ترتیب نزولی مرتب و در نهایت درج این گروه ها به ترتیب برای توالی جزئی در نظر گرفته می شود. از آن جا که این الگوریتم خاص مسایل FS بوده جهت تطبیق با مساله HFS ارزیابی مکان ها در توالی جزئی با استفاده از رابطه (۱۲) انجام می گیرد. مطالعاتی نظیر تورنر و بوت (۱۹۸۷) و نواز (۱۹۸۳) گویای آن هستند که NEH در میان سایر الگوریتم های هیوریستیک از عملکرد بهتری برخوردار می باشد.

۴-۳- مکانیزم انتخاب، عملگرهای ادغام و جهش

در این تحقیق از مکانیزم انتخاب مسابقه ای که اندازه آن به صورت تجربی برابر ۴ در نظر گرفته شده است، جهت انتخاب کروموزوم ها برای اجرای عملگر ادغام، استفاده می شود. هم چنین استراتژی انتخاب تصادفی برای عملکرد جهش و الگوی تولید نسل با لحاظ مکانیزم شروع مجدد جهت تولد جمعیت یک نسل در نظر گرفته می شود.

عملگر ژنتیکی ادغام با ادغام توالی هایی که تحت عنوان والد^{۳۷} شناخته

³⁷ parents

می شوند، توالی های جدیدی را که به عنوان فرزند^{۳۸} شناخته می شوند ایجاد می نمایند. هدف این عملگر ایجاد جواب ها یا توالی های بهتر با C_{max} کم تر می باشد. در مسایلی که نمایش جواب به صورت جایگشتی می باشد بعد از اجرای عملگر ادغام هیچ عنصری تکرار و یا حذف نمی شود. در غیر این صورت معناداری توالی حفظ نشده است.

در اینجا سه عملگر ادغام پیشنهادی توسط رویز و ماروتو (۲۰۰۶) به کار گرفته می شوند: Similar Job Order Crossover (SJOX) و Similar Block 2-Point Order Crossover (SB2OX) و Block Order Crossover (SBOX)

این عملگرها به دلیل شناسایی و حفظ بلوک های سازنده^{۳۹} که به صورت ژن های مشابه (مقادیر مشابه در مکان های مشابه) تعریف می شوند، منجر به عملکرد مؤثر الگوریتم ژنتیک می گردند. بلوک های سازنده بدون تغییر در فرزندان نسل بعد کپی می گردند. فرآیند اجرای عملگر SJOX بدین شرح می باشد: ابتدا دو والد انتخابی مکان به مکان مورد بررسی قرار می گیرند تا مکان هایی که دارای کارهای مشابه می باشند و درحقیقت بلوک های سازنده شناسایی و به همان صورت در هر دو نوزاد کپی می شوند. سپس یک نقطه برش تصادفی در طول رشته انتخاب می گردد. بخش سمت چپ نقطه انتخابی از والد ۱ و ۲ به طور مستقیم به ترتیب در نوزاد ۱ و ۲ کپی می گردند. در نهایت عناصر باقی مانده از هر نوزاد با ترتیبی که در والد دیگر مشاهده می شوند

³⁸ offspring

³⁹ Building Blocks

پرشده و به این ترتیب معنادار بودن جواب جایگشتی حفظ می شود. عملگر SBOX نیز به صورت SJOX عمل می کند با این تفاوت که در مرحله اول بلوک هایی که حداقل دو کار متوالی یکسان داشته باشند به طور مستقیم کپی می گردند. عملگر SB2OX بسیار مشابه عملگر SBOX می باشد و تنها تفاوت آن در مرحله دوم با در نظر گرفتن دو نقطه تصادفی در طول رشته می باشد. سپس قسمت مابین این دو رشته به همان صورت در نوزادها کپی می گردد و بقیه فرآیند مشابه فوق می باشد.

پس از اجرای عملگر فوق به سبب جلوگیری از همگرایی جمعیت به جواب های بهینه محلی و بررسی نقاطی که در فرآیند جستجو مورد بررسی قرار نگرفته اند عملگر جهش اجرا می گردد. در این الگوریتم از عملگر جهش شیفت استفاده می کنیم. به صورتی که یک مکان تصادفی انتخاب شده و در یک مکان تصادفی دیگر قرار داده می شود و کارهای بین این دو مکان بسته به این که کار تصادفی دوم در سمت راست یا چپ مکان تصادفی اول باشد به ترتیب به سمت چپ یا راست در طول رشته جابه جا می شوند. این عملگر در مطالعات بسیاری به عنوان عملگر مناسبی جهت مسایل FS شناخته شده است (ریوز^{۴۰}، (۱۹۹۵)، موراتا^{۴۱} (۱۹۹۶)).

۴-۴- تولید جمعیت و معیار توقف:

جهت جلوگیری از همگرایی زودرس در جمعیت یک مکانیزم شروع مجدد^{۴۲}

⁴⁰ Reeves

⁴¹ Murata et al.

⁴² Restart mechanism

به کار گرفته می شود. این روش به این طریق عمل می نماید چنانچه طی چندین نسل که تعداد آن با پارامتر Gr مشخص می گردد، بهبودی در بهترین جواب (مینیمم زمان تکمیل) حاصل نگردد، مکانیزم شروع مجدد به ترتیب ذیل اجرا می گردد:

۱. جمعیت را به ترتیب صعودی براساس C_{max} مرتب می کنیم.

۲. ۲۰٪ اول جمعیت عیناً در جمعیت جدید کپی می گردند.

۳. ۸۰٪ جمعیت باقیمانده از لیست مرتب شده $[0.2 * \text{pop-size}] + 1, \dots$ (pop-size) , صرف نظر شده و به صورت زیر مجدداً ایجاد می گردند:

(الف) نیمی از جمعیت جدید $[0.6 * \text{pop-size}] + 1, \dots$, $[0.2 * \text{pop-size}] + 1$ (size) با اجرای عملگر جهش بر روی اعضای ۲۰٪ اول جمعیت که در هر بار به صورت تصادفی انتخاب می گردند، ایجاد خواهند شد.

(ب) نیمه دوم باقی مانده (pop-size) , $[0.6 * \text{pop-size}] + 1$ به صورت تصادفی و دوباره ایجاد می گردند.

عدم تغییر تابع برازندگی طی چندین نسل مشخص به عنوان معیار توقف جهت خاتمه جستجو در نظر گرفته می شود. پس از ۱۰ بار اجرای مکانیزم شروع مجدد و عدم بهبود تابع برازندگی تا ۳ نسل ($Gr=3$) الگوریتم متوقف خواهد شد. هم چنین ماکزیمم مدت زمان اجرا الگوریتم نیز به عنوان معیار دیگر توقف الگوریتم در نظر گرفته می شود.

۵- به کارگیری مدل پیشنهادی در ترمینال کانتینری بندر

شهیدرجایی

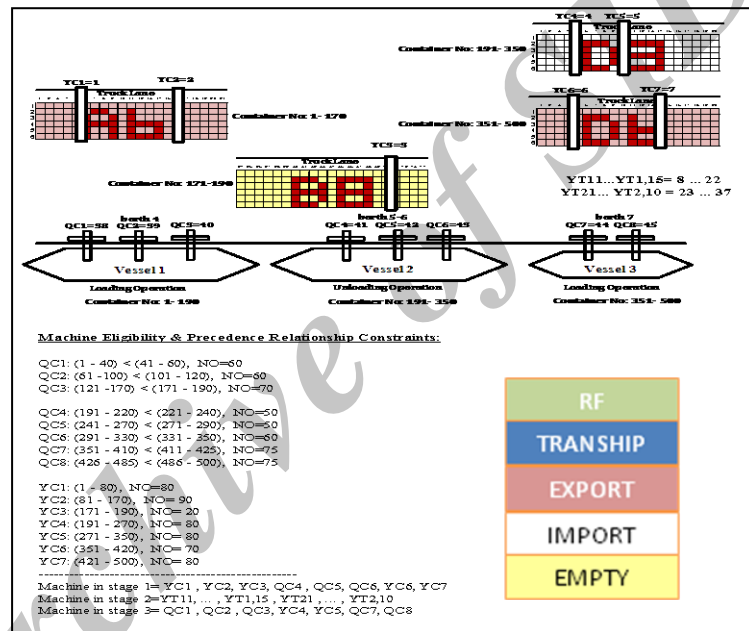
جهت ارزیابی کیفیت جواب و کارایی الگوریتم پیشنهادی دودسته مسایل اجرا و مورد تحلیل قرار گرفته اند. دسته اول به ارزیابی جواب های حاصل از ترکیب های ممکن پارامترهای الگوریتم می پردازد و جهت کالیبراسیون عملگرها و پارامترهای الگوریتم در سطوح مختلف یک طرح آزمایشی عاملی کامل با به کارگیری تکنیک آنالیز واریانس توسعه داده شده است. دسته دوم به مقایسه جواب حاصل از الگوریتم پیشنهادی با حد پایین برای نمونه مسایل طراحی شده می پردازند. محاسبه زمان بلوکه شدن تجهیزات و کانتینرها بر روی QC / YC ها در مراحل ۱ و ۲ قبل از تحویل کانتینرهای بارگیری / تخلیه به QC / YC ها نیز نرخ تراکم مسیرها در این قسمت لحاظ گردیده اند. این الگوریتم در محیط ۷,۰,۴ Matlab کد شده و بر روی PC با پردازشگر AMD 1.6-GHz و حافظه 2GB اجرا شده است.

۵-۱- داده های مساله

در این مطالعه ترمینال کانتینری ۱ بندر شهیدرجایی در نظر گرفته شده است و داده ها و پارامترهای مدل و تمامی نمونه مسایل آتی مبتنی بر لی اوت ارایه شده از ترمینال مذکور در تصویر ۲ با ۵۰۰ کانتینر و یا زیر مجموعه ای از آن می باشند:

۱. در این لی اوت بازه زمانی در نظر گرفته شده است که سه کشتی در اسکله ها پهلو گرفته اند. QC ها و کشتی ها از سمت چپ شماره گذاری

شده اند: QC های ۱، ۲ و ۳ به کشتی اول، QC های ۴، ۵ و ۶ به کشتی دوم و QC های ۷ و ۸ به کشتی سوم اختصاص یافته است. در این بازه زمانی کشتی اول و سوم عملیات بارگیری و کشتی دوم عملیات تخلیه خواهند داشت. کانتینرهایی که توسط کشتی اول بارگیری خواهند شد در بلوک های A۶ و B۸ انبارش شده اند. کانتینرهای تخلیه از کشتی ۲ در بلوک D۳ انبارش می شوند و کانتینرهایی که توسط کشتی ۳ بارگیری خواهند شد در بلوک D۶ انبارش شده اند.



تصویر ۲- لی اوت ترمینال و مشخصات نمونه مساله با ۵۰۰ کانتینر

۲. در نمونه مسایل تعداد کانتینرها در یک دوره زمانی معین بین ۲۵۰ تا ۵۰۰ تغییر می کند و برای یک مجموعه ثابت از کانتینرها سناریوهای مختلف باتغییر در تعداد جرتفیل ها و تراک ها در نظر گرفته می شود. در مجموع ۸

سناریوی مختلف با تغییر در تعداد کانتینرها و تجهیزات به کار گرفته شده مورد بررسی قرار می گیرد.

۳. زمان پردازش توسط YC ها از توزیع یکنواخت $U(1', 2')$ برخوردار می باشد و زمان پردازش توسط QC ها دارای توزیع یکنواخت $U(2', 3.2')$ فرض می شود.

۴. زمان پردازش توسط YT ها در مرحله ۲ وابسته به فاصله مکان مبدأ و مقصد کانتینرها می باشد. دوتای متفاوت تراک در این جا در نظر گرفته می شود. سرعت عملیات ناوگان نوع ۱ ($YT1$) ۱۰۰ و نوع ۲ ($YT2$) ۱۲۰ متر بر دقیقه برآورد گردیده است و از توزیع یکنواخت برخوردار می باشد. با در نظر گرفتن این فواصل و سرعت ها، زمان جابه جایی بین بلوک های انبارش و اسکله ها توسط این ناوگان از تراک ها در جدول ۱ درج گردیده است. ستون اول و دوم از جدول ۱ به ترتیب مسیرها و فواصل آن ها و ستون سوم و چهارم نیز زمان حمل توسط تراک ها را که هر دو از توزیع یکنواخت برخوردار می باشند، نشان می دهند.

جدول ۱- فواصل و زمان حمل (Loaded Trip) توسط تراک ها

	مسافت (متر)	زمان حمل توسط $YT1$ (دقیقه)	زمان حمل توسط $YT2$ (دقیقه)
(A6 – berth4)	۵۲۰	$U(5', 6')$	$U(4', 5')$
(B8 – berth4)	۲۰۰	$U(2', 3')$	$U(1.5', 2.5')$
(D3 – berth 5/6)	۲۳۰	$U(2.5', 3.5')$	$U(2', 3')$
(D6 – berth 7)	۲۷۳	$U(2.5', 3')$	$U(2', 2.5')$

۵. زمان آماده سازی توسط YC ها وابسته به مکان انبارش کانتینرها در

جدول ۳- زمان سفر بدون بار ترانستینر بین bay ها (ثانیه)

bays	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۱	-	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۶۵
۲	۲۰	-	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰
۳	۲۵	۲۰	-	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵
۴	۳۰	۲۵	۲۰	-	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰
۵	۳۵	۳۰	۲۵	۲۰	-	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵
۶	۴۰	۳۵	۳۰	۲۵	۲۰	-	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰
۷	۴۵	۴۰	۳۵	۳۰	۲۵	۲۰	-	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵
۸	۵۰	۴۵	۴۰	۳۵	۳۰	۲۵	۲۰	-	۲۰	۲۵	۳۰
۹	۵۵	۵۰	۴۵	۴۰	۳۵	۳۰	۲۵	۲۰	-	۲۰	۲۵
۱۰	۶۰	۵۵	۵۰	۴۵	۴۰	۳۵	۳۰	۲۵	۲۰	-	۲۰
۱۱	۶۵	۶۰	۵۵	۵۰	۴۵	۴۰	۳۵	۳۰	۲۵	۲۰	-

جدول ۴- فواصل بین مکانی جهت سفر بدون بار (Empty Trip) یا set up time تراک ها (متر)

Location No	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	
	Berth 4	Berth5/6	Berth 7	A6	B8	D3	D6	
۱	Berth 4	-	۱۵۰	NaN*	۵۲۰	۲۰۰	۱۸۰	NaN
۲	Berth5/6	NaN	-	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
۳	Berth 7	NaN	۱۵۰	-	۸۲۰	۵۰۰	۲۷۳	NaN
۴	A6	NaN	NaN	NaN	-	NaN	NaN	NaN
۵	B8	NaN	NaN	NaN	NaN	-	NaN	NaN
۶	D3	NaN	۲۳۰	NaN	۶۰۰	۴۱۸	-	۹۵
۷	D6	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	-

*Not a Number: تعریف نمی شود، به دلیل آن که زمان آماده سازی از یک

مکان مقصد به یک مبدا تعریف می گردد.

۵-۲- کالیبراسیون پارامترها

در این بخش جهت کالیبراسیون عملگرها و پارامترهای الگوریتم یک طرح

آزمایشی، عاملی کامل در شرایطی که تمامی ترکیب های ممکن از سطوح پارامترها به شرح زیر در نظر گرفته شده، اجرا می گردد:

الف) نرخ ادغام (P_c): سه سطح ۰,۷، ۰,۸، ۰,۹.

ب) نرخ جهش (P_m): چهار سطح ۰,۰۰۱، ۰,۰۰۲، ۰,۰۰۵، ۰,۰۰۱.

ج) نوع عملگر ادغام: سه سطح SBOX، SJOX و SB2OX.

د) اندازه جمعیت: سه سطح ۴۰، ۸۰، ۱۲۰.

با به کارگیری آنالیز واریانس چند عاملی در سطح اطمینان ۹۵٪ فاکتورهای موثر بر جواب حاصل از الگوریتم شناسایی می شوند. با در نظر گرفتن تعداد سطوح هر یک از پارامترهای فوق در مجموع به تعداد $3 \times 4 \times 3 \times 3$ ترکیب تیماری خواهیم داشت که هر یک از این ترکیب ها متناظر با یک الگوریتم خواهند بود. برای هر یک از تیمارها سه تکرار آزمایش با ۲۵۰ کانتینر و تغییر در تعداد تجهیزات مطابق جدول ۵ خواهیم داشت. بنابراین در مجموع به تعداد ۳۲۴ makespan نتیجه آزمایش از طرح آزمایشی عاملی کامل به دست خواهد آمد. نتیجه آرایه شده در این جدول بهترین جواب حاصل از هر بار اجرای الگوریتم با ترکیب سطوح مختلف پارامترها می باشد.

جدول ۵- نمونه مسایل طرح آزمایشی

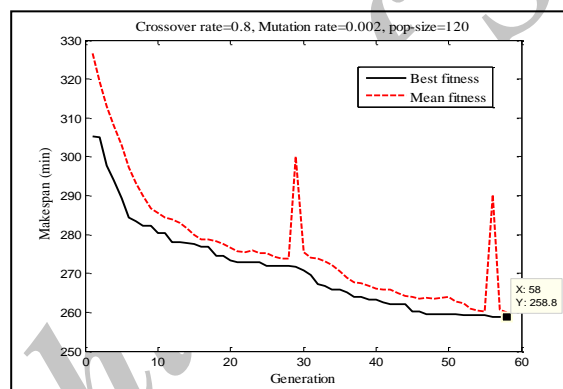
نمونه مساله	تعداد کانتینرها	QC	YC	YT1	YT2	Minimum Makespan (min)
۱	۲۵۰	۴	۳	۵	۵	۲۷۸,۱۵۴
۲	۲۵۰	۴	۴	۳	۵	۲۶۸,۰۴۶
۳	۲۵۰	۵	۴	۳	۵	۲۵۸,۸

روند نزولی و تکامل الگوریتم در یافتن مینیمم زمان تکمیل برای نمونه مساله

۳ در تصویر ۳ قابل مشاهده می باشد. جهت اختصار از ارایه سایر نمودارها برای دیگر نمونه مسایل صرف نظر شده است. متغیر پاسخ در این طرح آزمایشی بر اساس رابطه زیر و به صورت افزایش نسبت به بهترین جواب محاسبه می گردد:

$$\text{Increment over the best solution} = \frac{Heu_{sol} - Best_{sol}}{Best_{sol}}$$

که در رابطه فوق Heu_{sol} بهترین جواب به دست آمده توسط الگوریتم و $Best_{sol}$ بهترین جواب به دست آمده از الگوریتم پس از آزمایش تمام ترکیب های پارامترها می باشد.



تصویر ۳ - روند تکامل میانگین و بهترین جواب الگوریتم (نمونه مساله ۳)

جهت بررسی این که تفاوت معناداری بین سطوح مختلف پارامترها با تأثیر آن برمقادیر متغیر پاسخ وجود دارد یا خیر از تکنیک آنالیز واریانس استفاده گردید. در این بررسی سه شرط نرمال بودن، ثابت بودن واریانس و مستقل بودن

باقی مانده ها^{۴۵} برقرار بوده است. بنابراین نتایج آنالیز واریانس می تواند مبنای معتبری برای بررسی تفاوت بین میانگین تیمارها باشد. در جدول ۶ نتایج حاصل از به کارگیری آنالیز واریانس توسط Minitab15، نشان داده شده است که شامل درجه آزادی، جمع مربعات، میانگین مربعات و مقادیر آماره آزمون F می باشد. این جدول نشان می دهد که چهار فاکتور اول به دلیل آن که مقدار p-value آن ها کم تر از ۰,۰۵ می باشد، موثر بر متغیر پاسخ می باشند. هم چنین به دلیل آن که این مقدار برای اثر متقابل بین عامل ها بیشتر از ۰,۰۵ می باشد، لذا اثرات متقابل عامل ها، معنادار نمی باشند.

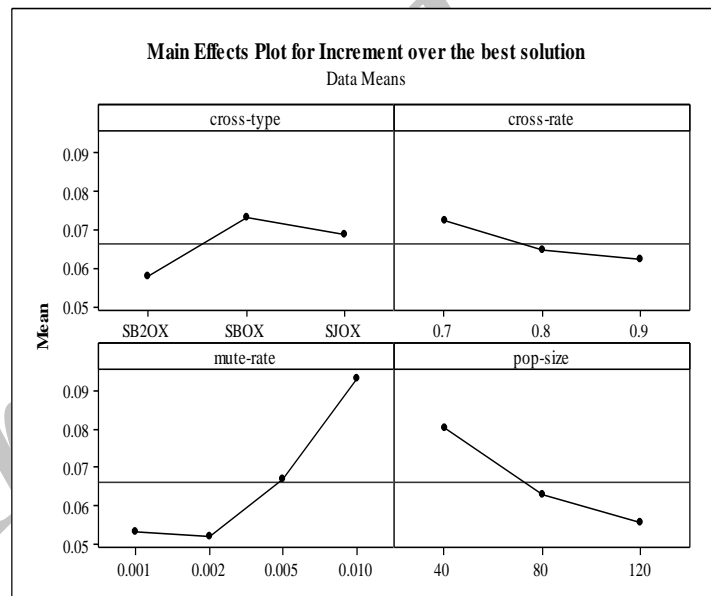
مهم آن است تا پس از تعیین فاکتورهای موثر تعیین شود که کدام سطح از عوامل منجر به تفاوت معنی دار شده است و کدام بهترین جواب را برای متغیر پاسخ ارائه می دهد. برای بررسی اختلاف های بین تمام جفت های ممکن از میانگین سطوح از مقایسات چندگانه^{۴۶} و از آزمون فرض Dunett استفاده کرده ایم، که نتایج آن در ضمیمه ۱ قابل مشاهده می باشد. در این آزمون، فرض صفر که معادل با برابری میانگین ها می باشد رد می شود، اگر و فقط اگر فاصله اطمینان در برگیرنده مقدار صفر نباشد. به علاوه هم پوشانی فواصل اطمینان عدم وجود تفاوت معنادار بین سطوح را نشان می دهد

⁴⁵Residuals

⁴⁶ Multiple comparisons

Source	درجه آزادی	جمع مربعات	میانگین مربعات	F آماره آزمون	p-value
cross-type	2	0.0136962	0.0068481	14.09	0.000
cross-rate	2	0.0060902	0.0030451	6.27	0.002
mute-rate	3	0.0883479	0.0294493	60.61	0.000
pop-size	2	0.0348620	0.0174310	35.87	0.000
cross-type*cross-rate	4	0.0062510	0.0015628	3.22	0.013
cross-type*mute-rate	6	0.0048195	0.0008033	1.65	0.133
cross-type*pop-size	4	0.0037743	0.0009436	1.94	0.104
cross-rate*mute-rate	6	0.0049714	0.0008286	1.71	0.120
cross-rate*pop-size	4	0.0005039	0.0001260	0.26	0.904
mute-rate*pop-size	6	0.0015230	0.0002538	0.52	0.791
Error	284	0.1379991	0.0004859		
Total	323	0.3028384			

جدول ۶- نتایج آنالیز واریانس



تصویر ۴- نمودار اثرات اصلی

در نهایت جهت یافتن سطوحی که منجر به جواب‌های بهتر (کم‌ترین مقدار) برای متغیر پاسخ می‌شوند نمودار اثرات اصلی در تصویر ۴ رسم گردیده‌است. همان‌طور که در نمودار cross-type مشاهده می‌شود، SB2OX بهترین سطح از میان سه سطح در نظر گرفته شده می‌باشد و این موضوع تاییدی بر این فرض است که عملگرهایی با حفظ بلوک‌های سازنده بهبود عملکرد الگوریتم را در پی خواهند داشت. با توجه به نمودار cross-rate مشاهده می‌شود که نرخ ۰,۹ به عنوان بهترین سطح از سطوح نرخ ادغام شناسایی می‌شود. نمودار mute-rate نرخ جهش ۰,۰۰۲ را به عنوان بهترین سطح این پارامتر ارایه می‌دهد. هم‌چنین بهترین اندازه جمعیت ۱۲۰ شناسایی شده است.

۵-۳- نتایج محاسباتی

با کالیبره الگوریتم پیشنهادی سایر نمونه‌مسائل را در شرایطی حل خواهیم کرد که پارامترهای الگوریتم در سطوح cross-type=SB2OX، ۰,۹ = cross-rate، ۰,۰۰۲ = mute-rate و ۱۲۰ = pop-size در نظر گرفته می‌شوند. نتایج به دست آمده برای نمونه‌مسائلی برای با تعداد ۴۰۰ و ۵۰۰ کانتینر و با تغییر در تعداد ماشین‌آلات در جدول ۷ خلاصه شده‌اند. در این جدول مدت زمان تکمیل به دست آمده از الگوریتم (makespan)، حد پایین کلی (Global Lower Bound)، مدت زمان اجرا و تعداد نسل تولید شده توسط الگوریتم درج گردیده‌اند. در تمامی نمونه‌مسائل الگوریتم با رسیدن به شرط ماکزیمم زمان اجرا متوقف گردیده‌است، که این زمان برای نمونه‌مسائل ۴ و ۵ برابر با ۱۸۰۰ ثانیه و برای نمونه‌مسائل ۶ و ۷ برابر ۲۱۰۰ ثانیه و برای مساله ۸ برابر با ۲۵۰۰ ثانیه بوده است. نتایج بیانگر آن است که با بزرگ شدن

ابعاد مساله تعداد نسل هایی که توسط الگوریتم در مدت زمان تعیین شده بررسی می گردند، کاهش می یابد. در این جدول GLB بر اساس روش پیشنهاد شده توسط سانتوس و همکاران^{۴۷} (۱۹۹۵) محاسبه شده است.

جدول ۷- نتایج حاصل از نمونه مساله ها

نمونه مساله	تعداد کانتینرها	تعداد QC	تعداد YC	تعداد YT1	تعداد YT2	Minimum Makespan (min)	GLB	Computation time (sec)	تعداد نسل
۴	۴۰۰	۸	۵	۵	۵	۳۸۳٫۶۸	۱۳۴٫۶	۱۸۳۳٫۹۵	۳۶
۵	۴۰۰	۸	۶	۱۰	۱۰	۳۵۸٫۲۱	۱۳۳٫۴۸	۱۸۶۹٫۸۳	۲۲
۶	۴۰۰	۸	۶	۱۵	۱۰	۳۵۹٫۸	۱۳۴٫۰۱	۲۱۰۶٫۵	۲۱
۷	۵۰۰	۸	۷	۱۵	۱۰	۳۵۲٫۰۶	۱۶۶٫۹۷	۲۱۱۳٫۹	۱۴
۸	۵۰۰	۸	۷	۱۵	۱۵	۳۲۹٫۴۴	۱۶۸٫۲۴	۲۳۲۴٫۵	۱۵

همان طور که مشاهده می شود انحراف زیادی بین GLB و makespan وجود دارد و این به دلیل آن است که حد پایین ارایه شده یک حد پایین سخت گیرانه نمی باشد و محدودیت هایی نظیر روابط پیش نیازی و زمان آماده سازی وابسته به توالی و انتخاب ماشین را در نظر نمی گیرد. لذا این حد تقریب خوبی از تابع هدف ندارد و فقط بیانگر آن است که جواب کم تر از این مقدار نخواهد شد.

جدول ۸ و ۹ به ترتیب زمان بلوکه شدن را در مرحله ۲ (مرحله تحویل کانتینرهای وارده / صادره از یک YT به QC / YC) و مرحله ۱ (مرحله تحویل کانتینرهای وارده / صادره از یک QC / YC به YT) برای نمونه مسایل ۴ ، ۵ و ۶ نشان می دهند. با در نظر گرفتن زمان بلوکه شدن در مرحله ۲، YC دیگری را در بلوک D3 استقرار می یابد (مسایل ۵ و ۶). در مرحله ۱ زمان بلوکه شدن

⁴⁷ Santos et al.

افزایش در تعداد تجهیزات می باشند. با این وجود افزایش در تعداد تجهیزات سبب بزرگ شدن ابعاد مساله شده و بار محاسباتی زیادی را به الگوریتم تحمیل می نماید و سبب تولید نسل های کم تری در ماکزیمم مدت زمان اجرا می شود. به طور مشابه نتایج نمونه مسایل ۷ و ۸ با ۵۰۰ کانیتینر در جداول ۱۰ و ۱۱ ارایه شده اند.

جدول ۱۰- مقایسه زمان های Blocking مرحله ۲ (۵۰۰ کانیتینر)

نمونه مساله ۷	Blocking time (min)	نمونه مساله ۸	Blocking time (min)
Maximum B on YC3	۲۳,۹۲۳۲	Maximum B on YC۴	۲۷۲,۰۹۴۳
Maximum B on YC5	۴۱,۹۶۲۵	Maximum B on YC5	۳۷۲,۷۴۸۲
Maximum B on QC1	۲۷,۲۱۵۹	Maximum B on QC1	۶۴,۷۴۹۷
Maximum B on QC2	۳۸,۰۵۳۵	Maximum B on QC2	۱۷۳,۳۳۹۲
Maximum B on QC3	۴۲,۳۳۹۵	Maximum B on QC3	۲۰۴,۹۹۹۳
Maximum B on QC7	۲۵,۱۰۹۸	Maximum B on QC7	۴۶۲,۸۴۵۷
Maximum B on QC8	۳,۶۶۵۴	Maximum B on QC8	۵۰۳,۳۱

جدول ۱۱- مقایسه زمان های Blocking مرحله ۱ (۵۰۰ کانیتینر)

نمونه مساله ۷			نمونه مساله ۸		
مرحله ۱	Sum of B (min)	Maximum B (min)	مرحله ۱	Sum of B (min)	Maximum B (min)
YC1	۱۱۷,۶۵۱۱	۳۴,۱۲۹۶	YC1	۷۸,۳۲۷۹	۴۵,۷۵۵۶
YC2	۱۳,۷۳۶۱	۶,۰۹۹۵	YC2	۶,۱۶۶۲	۵,۲۵۲
YC3	۲۶۶,۲۰۸	۸۴,۴۱۵۸	YC6	۲۶۲,۵۵۷۲	۱۳۰,۰۹۹۷
QC4	۱۶۹,۶۸۰۶	۹۰,۲۹۲۶	QC4	۱۶۳,۷۶۳۲	۱۱۵,۲۶۲۸
QC5	۱۶۶,۷۱۶۴	۶۳,۰۳۳۷	QC5	۱۱۴,۱۰۴	۵۷,۸۵۷۹
QC6	۱۴۹,۸۸۹۴	۴۹,۱۶۳۲	QC6	۴۸,۷۵۳۷	۲۱,۰۵۸۱
YC6	۱۳۸,۴۵۱۹	۴۸,۹۵۱۴	YC6	۶۶,۳۳۶	۶۳,۳۳۹۱
YC7	۹,۷۴۰۳	۸,۳۹۹	YC6	۶,۹۷۴۲	۶,۶۳۸۳
Sum	۱۰۲۱,۸۹	-	Sum	۷۴۶,۹۸۲۴	-
Maximum	۲۶۶,۲۰۸	-	Maximum	۲۶۲,۵۵۷۲	-

در حال حاضر در بندر شهیدرجایی سیاست تک جرثقیل گرا در تخصیص YT ها به QC ها اجرا می گردد. به این ترتیب که به ازای هر QC ، ۸ تراک در نظر گرفته می شود. حال آن که با به کارگیری سیاست چند جرثقیل گرا امکان

به اشتراک گذاشتن تراک ها بین مجموعه ای از کشتی های در حال تخلیه و بارگیری وجود خواهد داشت، که در نتیجه استفاده از YT کم تری را نسبت به سیاست قبلی با حفظ و حتی افزایش سرعت عملیات در پی خواهد داشت.

به علاوه در این مدل میزان جریان عبوری و نیز نرخ تراکم مسیرها (تعداد تراک هایی که از یک مسیر در واحد زمان عبور می کنند) محاسبه می شود. نرخ

تراکم مسیرها به صورت $\theta = \frac{f_{ij}}{makespan}$ می باشد. که در این رابطه i یک مکان

مقصد و j یک مکان مقصد خواهد بود. که این مکان ها در جدول ۴ قابل مشاهده می باشند. محاسبه جریان و نرخ تراکم تنها در مسیرهایی که از یک مقصد به یک مبدأ منتهی گردیده اند حایز اهمیت است، به این دلیل که زمان آماده سازی (سفر بدون بار) در این مسیرها وجود دارد و لذا انتخاب این مسیرها از بین چندین مسیر ممکن و این که تراک پس از تحویل یک کانتینر به مقصد مربوطه به کدام یک از مبادی موجود جهت حمل کانتینر بعدی برود مساله ای است که الگوریتم به دنبال آن می باشد. از جدول ۱۲ چنین استنتاج می شود که میزان جریان در مسیرهای طولانی نسبت به مسیرهای کوتاه کم تر خواهد بود، که این موضوع صحه ای بر روند تکاملی فرآیند جستجوی الگوریتم و سوق به سمت جواب های بهتر می باشد.

جدول ۱۲- نرخ تراکم مسیرها

مسیرهای منتهی به مکان‌های مبدأ	Truck/makespan = θ نرخ تراکم) تعداد تراک عبوری				
	نمونه مساله ۴	نمونه مساله ۵	نمونه مساله ۶	نمونه مساله ۷	نمونه مساله ۸
flow12	۱۲ (۰.۰۳۱)	۱۵ (۰.۰۴۲)	۱۲ (۰.۰۳۳)	۴۹ (۰.۱۳۹)	۴۱ (۰.۱۱۶)
flow14	۱۱۴ (۰.۲۹۷)	۱۰۴ (۰.۲۹۰)	۹۴ (۰.۲۶۱)	۷۶ (۰.۲۱۶)	۸۴ (۰.۲۳۹)
flow15	۵ (۰.۰۱۳)	۲ (۰.۰۰۶)	۰ (۰)	۱۰ (۰.۰۲۸۴)	۱۰ (۰.۰۲۸۴)
flow17	۱۴ (۰.۰۳۶)	۱۹ (۰.۰۵۳)	۲۶ (۰.۰۷۲)	۴۶ (۰.۱۳۱)	۳۹ (۰.۱۱۱)
flow32	۶۰ (۰.۱۵۶)	۳۳ (۰.۰۹۲)	۱۶ (۰.۰۴۴)	۳۰ (۰.۰۸۵۲)	۳۶ (۰.۱۰۲)
flow34	۶ (۰.۰۱۶)	۱۵ (۰.۰۴۲)	۲۶ (۰.۰۷۲)	۳۹ (۰.۱۱۱)	۳۳ (۰.۰۹۴)
flow35	۱ (۰.۰۰۳)	۱ (۰.۰۰۳)	۴ (۰.۰۱۱)	۴ (۰.۰۱۱)	۱ (۰.۰۰۳)
flow37	۴۳ (۰.۱۱۲)	۵۴ (۰.۱۵۱)	۵۷ (۰.۱۵۸)	۶۴ (۰.۱۸۲)	۷۶ (۰.۲۱۶)
flow62	۶۳ (۰.۱۶۴)	۸۵ (۰.۲۳۷)	۹۸ (۰.۲۷۲)	۷۵ (۰.۲۱۳)	۷۷ (۰.۲۱۹)
flow64	۱۸ (۰.۰۴۷)	۱۳ (۰.۰۳۶)	۱۱ (۰.۰۳۱)	۴۴ (۰.۱۳۵)	۴۲ (۰.۱۱۹)
flow65	۳ (۰.۰۰۸)	۳ (۰.۰۰۸)	۵ (۰.۰۱۴)	۶ (۰.۰۱۷)	۳ (۰.۰۰۹)
flow67	۵۱ (۰.۱۳۳)	۳۶ (۰.۱۰۱)	۲۶ (۰.۰۷۲)	۳۳ (۰.۰۹۱)	۲۸ (۰.۰۰۸)

۶- نتیجه گیری و پیشنهاد برای تحقیقات آینده

در این مقاله یک الگوریتم ژنتیک برای مدل یکپارچه زمان بندی عملیات تجهیزات جابه‌جایی و حمل و نقل کانتینر در یک ترمینال دریایی ارائه گردید. با توجه به NP-hard بودن مدل بر جواب های نزدیک به بهینه متمرکز شدیم. نتایج مدل توالی و زمان بندی عملیات تخلیه و بارگیری کانتینرها توسط تجهیزات جابه‌جایی و حمل و نقل را با مینیمم سازی جمع کل زمان ارائه سرویس به دست می دهند. جهت کالیبراسیون پارامترها و عملگرهای الگوریتم یک طرح آزمایشی عاملی کامل اجرا گردید. نتایج حاصل از آنالیز واریانس و نمودار اثرات اصلی، آن سطح از پارامترها را که منجر به جواب های بهتری می شوند ارائه می دهد.

در ادامه زمان بلوکه شدن و زمان انتظار تجهیزات به عنوان معیاری جهت سنجش عملکرد ترمینال محاسبه گردید و مقایسه عملکرد نمونه مسائل مختلف با افزایش در تعداد تجهیزات صورت گرفت. هم چنین نرخ تراکم مسیره‌ها به عنوان معیار دیگری جهت ارزیابی عملکرد ترمینال محاسبه گردید که تصویری را از مسیره‌های ترمینال در طی زمان انجام عملیات تخلیه و بارگیری به دست می‌دهد.

توسعه و تطبیق سایر الگوریتم‌های متاهوریستیک جهت حل این مساله و مقایسه عملکرد آن‌ها، که منجر به شناسایی الگوریتم‌هایی با عملکرد بهتر نسبت به الگوریتم پیشنهادی خواهد شد، یکی از موضوع‌های تحقیق در آینده خواهد بود. از آن جا که بخش زیادی از زمان اجرای الگوریتم صرف محاسبه میزان برازندگی هریک از جواب‌های موجود در جمعیت می‌گردد، موازی‌سازی فرآیند اجرا و در نهایت طراحی الگوریتم‌های ژنتیک موازی جهت کاهش زمان اجرا و بررسی تعداد نسل‌های بیش‌تر، از مواردی است که می‌توان در آینده به آن پرداخت.

در مواردی اپراتور ترمینال کانتینر ملزم به اعمال محدودیت‌هایی بر زمان بلوکه شدن و یا نرخ تراکم در مسیره‌ها می‌باشد. این محدودیت‌ها ممکن است به صورت عدم تجاوز زمان انتظار از یک مقدار مشخص و یا اولویت یک تجهیز نسبت به تجهیز دیگر و یا متعادل سازی نرخ تراکم در مسیره‌ها نمایان گردند. تحت چنین شرایطی به کارگیری الگوریتم‌های ژنتیک چند معیاره با در نظر گرفتن معیارهای فوق در کنار مینیمم سازی makespan پیشنهادی دیگر برای تحقیقات آتی خواهد بود.

ضمیمه ۱- نتایج آزمون فرض Dunnett

Dunnett 95.0% Simultaneous Confidence Intervals

Comparisons with Control Level

cross-type = SB2OX subtracted from:

cross-type	Lower	Center	Upper	
SB2OX	0.008588	0.01549	0.02239	(-----*-----)
SJ2OX	0.004045	0.01095	0.01785	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----
0.0050 0.0100 0.0150 0.0200

Dunnett Simultaneous Tests

Comparisons with Control Level

cross-type = SB2OX subtracted from:

cross-type	Difference of Means	SE of Difference	Adjusted T-Value	P-Value
SB2OX	0.01549	0.003102	4.994	0.0000
SJ2OX	0.01095	0.003102	3.529	0.0010

Dunnett 95.0% Simultaneous Confidence Intervals

Comparisons with Control Level

cross-rate = 0.7 subtracted from:

cross-rate	Lower	Center	Upper	
0.8	-0.01449	-0.00759	-0.000687	(-----*-----)
0.9	-0.01713	-0.01023	-0.003326	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----
-0.0150 -0.0100 -

0.0050 0.0000

Dunnett Simultaneous Tests

Comparisons with Control Level

cross-rate = 0.7 subtracted from:

cross-rate	Difference of Means	SE of Difference	Adjusted T-Value	P-Value
0.8	-0.00759	0.003102	-2.447	0.0285
0.9	-0.01023	0.003102	-3.298	0.0022

Dunnett 95.0% Simultaneous Confidence Intervals

Comparisons with Control Level

mute-rate = 0.001 subtracted from:

mute-rate	Lower	Center	Upper		
0.002	-0.009525	-0.001058	0.007409	(----*----)	
0.005	0.005429	0.013897	0.022364	(----*----)	
0.010	0.031429	0.039896	0.048364	(----*----)	
		0.000	0.016	0.032	0.048

Dunnett Simultaneous Tests

Comparisons with Control Level

mute-rate = 0.001 subtracted from:

	Difference	SE of	Adjusted		
mute-rate	of Means	Difference	T-Value	P-Value	
0.002	-0.001058	0.003582	-0.2954	0.9856	
0.005	0.013897	0.003582	3.8800	0.0004	
0.010	0.039896	0.003582	11.1394	0.0000	

Dunnett 95.0% Simultaneous Confidence Intervals

Comparisons with Control Level

pop-size = 40 subtracted from:

pop-size	Lower	Center	Upper	
80	-0.02427	-0.01737	-0.01046	(----*----)
120	-0.03165	-0.02475	-0.01784	(----*----)
	-0.030	-0.020	-0.010	0.000

Dunnett Simultaneous Tests

Comparisons with Control Level

pop-size = 40 subtracted from:

	Difference	SE of	Adjusted		
pop-size	of Means	Difference	T-Value	P-Value	
80	-0.01737	0.003102	-5.599	0.0000	
120	-0.02475	0.003102	-7.978	0.0000	

منابع

1. Bierwirth C and Meisel F. A survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals. *Eur J Opl Res* 2010; 202: 615–627.
2. Bish EK. A multiple-crane-constrained scheduling problem in a container terminal. *Eur J Opl Res* 2003; 144: 83–107.
3. Cao J, Shi Q and Lee DH. A decision support method for truck scheduling and storage allocation problem at container. *Tsinghua Sci Technol* 2008; 13(S1): 211–216.
4. Chen L, Bostel N, Dejax P, Cai J and Xi L. A tabu search algorithm for the integrated scheduling problem of container handling systems in a maritime terminal. *Eur J Opl Res* 2007; 181: 40–58.
5. Garey MR and Johnson DS. *Computers and intractability: a guide to the theory of NP-completeness*. San Francisco: Freeman, 1979.
6. Gholami M, Zandieh M and Alem-Tabriz A. Scheduling hybrid flow shop with sequence-dependent setup times and machines with random breakdowns. *Int J Advd Mfg Technol* 2009; 42: 189–201.
7. Graham RL, Lawler EL, Lenstra JK and Rinnooy Kan AHG. Optimization and approximation in deterministic sequencing and scheduling: a survey. *Ann Discrete Math* 1979; 5: 287–326.
8. Gunter HO and Kim KH. Container terminals and terminal operations. *OR Spectrum* 2006; 28: 437–445.
9. Gupta JND. Two-stage, hybrid flowshop scheduling problem. *J Opl Res Soc* 1988; 39(4) 359–364.
10. Holland JH. *Adaptation in natural and artificial systems*. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975.
11. Kim KH and Park YM. A crane scheduling method for port container terminals. *Eur J Opl Res* 2004; 156: 752–768.

12. Mak KL and Sun D. A new hybrid genetic algorithm and tabu search method for yard cranes scheduling with inter-crane interference. In: *World Congress on Engineering (WCE 2009)*, London, UK, 1–3 July 2009, vol. I, pp.526–531 (International Association of Engineers, Hong Kong).
13. Murata T, Ishibuchi H and Tanaka H. Genetic algorithms for flowshop scheduling problems. *Comput Ind Engng* 1996; 30(4) 1061–1071.
14. Murty KG, Liu J, Wan YW and Linn R. A decision support system for operations in a container terminal. *Decision Support Systems* 2005; 39: 309–332.
15. Nawaz M, Ensore Jr EE and Ham I. A heuristic algorithm for the m machine, n-job flow-shop sequencing problem. *OMEGA Int J Managmt Sci* 1983; 11(1): 91–95.
16. Ng WC and Mak KL. Yard crane scheduling in port container terminals. *Appl Math Modeling* 2005; 29: 263–276.
17. Ng WC, Mak KL and Zhang YX. Scheduling trucks in container terminals using a genetic algorithm. *Engng Optimization* 2007; 39(1): 33–47.
18. Ng WC. Crane scheduling in container yards with intercrane interference. *Eur J Opl Res* 2005; 164: 64–78.
19. Reeves CR. A genetic algorithm for flowshop sequencing. *Comput Ops Res* 1995; 22(1): 5–13.
20. Ruiz R and Maroto C. A genetic algorithm for hybrid flow shops with sequence dependent setup times and machine eligibility. *Eur J Opl Res* 2006; 169(3): 781–800.
21. Ruiz R and Rodriguez JAV. The hybrid flow shop scheduling problem. *Eur J Opl Res* 2010; 205: 1–18.
22. Santos DL, Hunsucker JL and Deal DE. Global lower bounds for flow shops with multiple processors. *Eur J Opl Res* 1995; 80: 112–120.
23. Stahlbock R and Voß S. Operations research at container terminals: a literature update. *OR Spectrum* 2008; 30: 1–52.

24. Steenken D, Voß S and Stahlbock R. Container terminal operation and operations research – a classification and literature review. *OR Spectrum* 2004; 26: 3–49.
25. Turner B and Booth D. Comparison of heuristics for flow shop sequencing. *OMEGA Int J Managmt Sci* 1987; 15: 75–78.
26. Vis IFA and De Koster R. Transshipment of containers at a container terminal: an overview. *Eur J Opl Res* 2003; 147: 1–16.
27. Zeng Q and Yang Z. Integrating simulation and optimization to schedule loading operations in container terminals. *Comput Opns Res* 2009; 36: 1935–1944.
28. Zhang C, Wan YW, Liu J and Linn RJ. Dynamic crane deployment in container storage yards. *Transpn Res Part B* 2002; 36: 537–555.

Archive of SID