فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۲، شماره ۳، بهار ۱۴۰۰، ص. ۴۷۱-۴۹۲

مقاله پژوهشی

الگوریتم حل مسأله تخصیص کانتینرهای دریایی با توجه به ظرفیت و زمان انتظار

محمد ساویز اسدی لاری، دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، پردیس البرز، دانشگاه تهران، تهران، ایران

فریبرز جولای (مسئول مکاتبات)، استاد، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

رضا توکلی مقدم، استاد، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

جعفر رزمی، استاد، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

E-mail: fjolai@ut.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۵ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۰۱

چکیده :

مفهوم تخلیه و بارگیری کانتینرها در بنادر کانتینری به منظور تخلیه و بارگیری، تحت عنوان تخصیص کانتینر مطرح می‌شود. در این تحقیق فرض گردیده است که کانتینرها بین بخش‌های مختلف بندر انتقال می‌یابند و باید بین بخش‌های موجود بندر جهت انتقال تخصیص یابند. تخصیص به گونه‌ای صورت می‌گیرد که هزینه‌ها حداقل گردد. برای داشتن یک مدل‌سازی مناسب و کارآمد رابطه بین بخشهای مختلف نوشته شده‌است. در این مقاله، مسأله تخصیص کانتینرها به کشتی‌ها، محوطه‌ها، گمرک ها، سرزمین اصلی و جرثقیل به صورت مجزا مورد بررسی قرار می گیرد . همچنین مسأله تخصیص کشتی‌ها به اسکله ها نیز مورد مطالعه قرار می‌گیرد؛ در هر دو قسمت زمان حمل و ظرفیت محوطه ها به صورت محدودیت در مسأله اعمال گردیده است. به علت NP-Hard بودن مسأله به دست آوردن جواب بهینه در زمان معقول امکان‌پذیر نیست. پس از مدل‌سازی ریاضی، بعلت پیچیدگی مسأله، برای حل از دو الگوریتم ابتکاری استفاده شده است . اولین الگوریتم با روش ازدحام ذرات تخصیص کشتی‌ها به اسکله‌ها را انجام می‌دهد و پس از آن الگوریتم دوم با روش ژنتیک تخصیص کانتینرها به قسمت‌های مختلف را انجام می‌دهد. در نهایت تجزیه و تحلیل و مقایسه الگوریتم پیشنهادی انجام می‌شود. نتایج محاسبات نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی دارای کارایی بسیار بالا یی در عمل و در دنیای واقعی می باشد.

واژه های کلیدی : تخصیص کانتینرها، تخصیص کشتی‌ها، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ازدحام ذرات

۱. مقدمه

حمل و نقل دریایی یکی از صنایع در حال رشد جهان است. مدیریت حمل و نقل دریایی شامل معاملات صورت گرفته با هماهنگی مواد و جریان کالا در میان تامین کنندگان، تولید کنندگان، توزیع کنندگان و مشتریان می‌باشد. از سال ۱۹۷۰، حمل و نقل کانتینری محمولات دریایی به علت مزایای آشکار آن در انطباق با اصول عقلانی، امنیت، امکانات کافی و نیز تسهیل حمل و نقل در سراسر جهان مرسوم شده است [Zehendner and Jaillet, 2018].

تمام شرکت های حمل و نقل بر سر نرخ حمل و نقل، زمان حمل بار و خدمات مشتری به منظور ارائه خدمات حمل و نقل کانتینری با یکدیگر رقابت دارند. مزایای رقابت بین شرکت‌های حمل و نقل با نظارت بهتر ناوگان کانتینری افزایش می‌یابد [Li et al. 2007]. حمل و نقل دریایی یک حالت مطلوب حمل و نقل است، که در آن جابجایی کالا ها معمولا توسط کانتینرها انجام می‌شود. یک کانتینر یک واحد حمل بار استاندارد است، که هم برای حمل و نقل جاده‌ای و هم از طریق راه آهن مناسب است. استفاده از کانتینرها باعث کاهش مقدار بسته‌بندی محصول و احتمال آسیب می شود [Sheng et al. 2016].

بنابراین، این حالت از حمل و نقل در طول چند دهه گذشته افزایش قابل ملاحظه ای داشته است. ترمینال کانتینری یک منطقه ذخیره سازی موقت است، که در آن کشتی‌های کانتینر بر در اسکله‌های آن لنگر انداخته، کانتینرهای ورودی را خالی کرده و کانتینرهای خروجی را بارگیری می‌کنند [Güven and Eliiyi, 2014].

در دو دهه گذشته، ترمینال‌های کانتینری در سراسر جهان بدلیل افزایش حجم تبادلات دریایی با مشکلات زیادی روبرو بوده‌اند. بنابراین، زمان بازگشت کشتی به یکی از مهمترین فاکتورهای تعیین عملکرد برای قطب های انتقالات دریایی تبدیل شده است. صرف مدت زمان کمتر برای فرایندهای بارگیری و تخلیه کانتینرها در بنادر و در کشتی‌ها، امری حیاطی برای بهبود عملکرد توان عملیاتی بنادر دریایی بوده که موجب کاهش مدت زمان سیکل انتقال کانتینرها خواهد شد [Wang et al., 2017].

رقابت بین پایانه‌های کانتینری به دلیل رشد قابل توجه مسیرهای اصلی دریایی، افزایش یافته است. در مواجهه با چالش های شدید، به منظور جذب بیشتر کشتی‌های حامل، مسئولان عملیاتی پایانه های کانتینری در تلاش اند تا خدمات تدارکاتی بهتری را فراهم کنند و در عین حال، آنها در تلاش برای کاهش هزینه‌ها با استفاده موثر از منابعی از جمله منابع انسانی، اسکله ها، محوطه کانتینر ها و تجهیزات مختلف می‌باشند [He, 2016].

در میان تمام منابع، اسکله‌ها و جرثقیل های واقع در آن از مهمترین منابع محسوب می‌شوند، تخصیص اسکله مناسب و طرح جرثقیل های واقع در اسکله می‌تواند رضایت مشتریان و بهبود و افزایش توان عملیاتی را در پی داشته باشد، که منجر به سود بیشتر بندرگاه خواهد شد [Han et al. 2015].

با توجه به افزایش چشمگیر در ترافیک کانتینری جهان، مدیریت کارآمد عملیات در پایانه‌های کانتینری بندر به یک مسأله بسیار مهم تبدیل شده است [Türkoğulları et al. 2017].

هماهنگی برنامه و تخصیص محموله به طور همزمان برسودآوری حامل تاثیر می گذارد. از یک طرف، زمان انتظار و هزینه کرایه معطلی محموله‌های کانتینری حاصل، میتواند به طور مستقیم با بهینه‌سازی برنامه‌های مسیرهای کشتی کاهش یابد به طوری که در برخی موارد کل هزینه کرایه معطلی برای محموله کانتینر می‌تواند کنترل شود و حتی به حداقل برسد [Wang, 2014].

در ادبیات موضوع تعداد مقالات زیادی به بررسی انواع مسأله‌های برنامه ریزی کانتینرها اختصاص داده شده که برای راحتی حل مسأله بسیاری از محدودیت‌های در نظر نگرفته‌اند و موجب ساده شدن مسأله شده‌اند. [Borumand and Beheshtinia, 2018]

جدول ۱. لیست مطالعات انجام شده

نویسنده		تخصیص					تعداد جرثقیل		ظرفیت		تعداد اسکله	زمان ت.ب کشتی	روش حل
		سرزمین اصلی	جرثقیل	کشتی	گمرک	محوطه	محوطه	اسکله	محوطه و گمرک	جرثقیل			
Jan de Weille	۱۹۷۴	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-
Daganzo	۱۹۸۹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	شاخه و کران
Peterkofsky	۱۹۹۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	شاخه و کران
Lim	۱۹۹۸	-	-	-	-	*	-	-	-	-	*	*	شاخه و کران
Park	۲۰۰۲	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	شبیه سازی تبرید
Guan	۲۰۰۲	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	شبیه سازی
Kent	۲۰۰۳	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-
Kim	۲۰۰۳	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Imai	۲۰۰۵	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	شاخه و کران
Lee	۲۰۰۶	-	-	-	-	*	-	-	-	-	*	-	ژنتیک
Ak and Erera	۲۰۰۶	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	شبیه سازی
LIO	۲۰۰۶	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	شبیه سازی
Kasypi	۲۰۰۶	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	رگرسیون
Lokuge	۲۰۰۷	-	-	-	-	*	-	-	-	-	*	-	ژنتیک
Barkhof	۲۰۰۷	-	-	-	-	-	-	-	*	*	-	-	شبیه سازی
Harris	۲۰۰۷	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	شبیه سازی
Meier	۲۰۰۷	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	*	-
Onut	۲۰۰۸	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	فازی
Dai	۲۰۰۸	-	-	-	-	*	-	-	-	-	*	-	فازی
Hirashima	۲۰۰۸	-	-	-	-	*	-	-	-	-	*	*	Q-learning
Giallombardo	۲۰۰۸	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	ژنتیک
Imai	۲۰۰۸	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	ژنتیک
Wong	۲۰۰۸	-	-	-	-	*	-	-	-	-	*	*	شاخه و کران
Hsu	۲۰۰۹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-
Le	۲۰۰۹	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	سیستم دینامیک
Liang	۲۰۰۹	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	هیبریدی
Zeng	۲۰۰۹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	ژنتیک
Song	۲۰۱۲	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cao	۲۰۱۲	-	-	-	-	*	-		-	*	-	-	ژنتیک
Lee	۲۰۱۲	-	*	-	-	-	-	*	*	-	-	-	ژنتیک
Yu	۲۰۱۳	-	-	-	-	*	-			-	-	*	شبیه سازی
Tongzon	۲۰۱۴	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	فازی
Cia	۲۰۱۴	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*		فازی
Guven	۲۰۱۴	-	*	-	-	*	-	-	-	-	-	*	شبیه سازی
Myung	۲۰۱۴	-	-	*	-	*	-	*	-	-	-	-	فازی
Wang	۲۰۱۴	-	*	-	-	-	*	-	-	-	*	-	شاخه و کران
Zhang	۲۰۱۴	-	-	*	-	-	-	*	-	-	-	*	ژنتیک
Bierwirth	۲۰۱۵	-	-	*	-	*	-	*	-	*	-	-	شبیه سازی
Frojan	۲۰۱۵	-	*	*	-	-	-	*	-	-	-	-	فازی
Han	۲۰۱۵	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	رگرسیون
Liu	۲۰۱۵	-	*	-	-	-	-	*	-	*	-	*	ژنتیک
Do	۲۰۱۶	-	-	*	-	-	-	*	-	-	-	*	شبیه سازی
He	۲۰۱۶	-	-	*	-	-	*	-	-	-	-	-	فازی
Sheng	۲۰۱۶	-	*	-	-	-	*	*	-	-	-	-	ژنتیک
Türkoğulları	۲۰۱۷	-	-	*	-	-	-	*	-	*	-	-	شاخه و کران
Jiang	۲۱۰۷	-	-	*	-	-	-	-	-	*	-	-	شبیه سازی
Wang	۲۰۱۷	-	*	-	-	-	-	*	-	-	-	*	شاخه و کران
Toffolo	۲۰۱۸	-	-	*	-	-	-	-	*	-	-	-	شبیه سازی
Xie	۲۰۱۸	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	*	شبیه سازی
Zehendner	۲۰۱۸	-	-	*	-	-	-	-	*	-	-	*	فازی
الگوریتم پیشنهادی	۲۰۱۹	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	ژنتیک‌ازدحام ذرات

مطالعه انجام شده نشان می‌دهد که اغلب روش‌های حل یک یا چند مورد از موارد مطرح شده در جدول شماره (۱) را در بر گرفته اند. همین امر موجب شده است که مسأله تخصیص کانتینرها به صورت تئوری و ریاضی قابل حل بوده و کارآمدی لازم را در عمل نداشته

باشد. الگوریتم ارائه شده تمامی محدودیت‌ها را در نظر گرفته و باعث شده است الگوریتم در عمل کارایی لازم را داشته باشد خروجی مسأله نشانگر همین مورد است.

در جدول شماره (۱) زمان تخلیه و بارگیری کشتی‌ها، تعداد اسکله ها، ظرفیت‌های جرثقیل ها و محوطه و گمرک، تعداد جرثقیل های اسکله و محوطه، تخصیص کانتینرها به محوطه گمرک کشتی جرثقیل و سرزمین‌های اصلی و روش حل مسأله به ترتیب در ستون ها برای روش‌های حل ارائه شده آمده است.

۲. تعریف مسأله و مدل‌سازی ریاضی

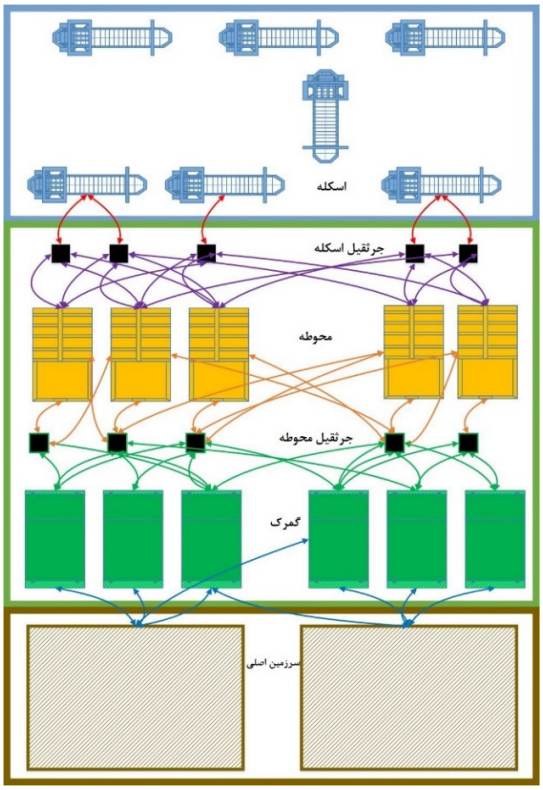
مسأله تخصیص کانتینرهای دریایی در اصل شامل دو قسمت مرتبط با یکدیگر می باشد ، و همانطور که در شکل شماره (۱) می‌بینیم مدل دارای دو قسمت و یا بهتر بگوییم دارای دو بخش است:

اول: تخصیص کشتی‌ها به اسکله‌ها و زمان اتمام فرایند تخلیه و بارگیری کشتی و بهینه‌سازی تعداد اسکله‌ها می‌باشد.

دوم: تخصیص کانتینرها به محوطه، که خود شامل بهینه‌سازی جرثقیل‌های محوطه و اسکله می‌باشد.

برای حل این مسأله از دو الگوریتم استفاده شده است که خروجی و یا متغیر تصمیم الگوریتم اول؛ ورودی و یا پارامتر الگوریتم دوم می‌باشد.

در مسأله و الگوریتم اول زمان تخلیه و بارگیری کشتی و تعداد اسکله متغیر تقسیم تصمیم بوده و خروجی الگوریتم اول می‌باشد و در مسأله دوم یا الگوریتم دوم از این دو به عنوان پارامتر ورودی استفاده گردیده تا کل مسأله دارای خروجی‌های مشخص و مطابق با واقعیت داشته باشد.



شکل ۱. فرآیند جریان کانتینرها

مدل‌سازی مسأله کانتینرها دارای اهمیت بسیار زیادی می‌باشد، زیرا با تعیین درست و بجای پارامترها می‌توانیم، بسیاری از محدودیت هایی که در اینگونه مسائل و الگوریتم های معرفی شده تا به حال، وجود دارد و موجب شده است تا مسأله بصورت عملی مورد توجه زیادی قرار نگیرد و تنها به جنبه تئوری آن توجه شود، جلوگیری کنیم. از طرف دیگر با وارد کردن تاثیر زمان اتمام تخلیه و بارگیری کشتی در مسأله پیچیدگی آن را دوچندان کرده است. زیرا از طرفی باید مسأله به صورت عملی قابل قبول باشد و از طرف دیگر جنبه‌ها و نوآوری‌های جدید مسأله را بپوشاند.

۲-۱ تخصیص کشتی‌ها به اسکله‌ها و زمان اتمام فرایند تخلیه و بارگیری کشتی

در دهه گذشته، مطالعات مختلفی روی چگونگی تخصیص اسکله برای کشتی‌های در حال رفت و آمد، صورت گرفته است. در واقع،

مشکل تخصیص اسکله را می‌توان به دو دسته محوطه‌بندی کرد: گسسته و پیوسته: برای نسخه گسسته، اسکله به عنوان یک مجموعه متناهی از اسکله ها در نظر گرفته می شود. معمولا، یک اسکله در یک زمان فقط می‌تواند در خدمت یک کشتی باشد. در مقابل، مدل پیوسته اجازه می‌دهد تا کشتی‌ها در هر نقطه از امتداد اسکله لنگر بگیرند، که استفاده از منابع اسکله در این حالت بهینه می‌شود [Han et al. 2015]. مدل ارائه شده در بخش زیر، فرض پنجره زمانی برای مسأله را در نظر می‌گیرد که در عمل هزینه‌های انحراف از پنجره‌ی زمانی ترک کشتی را بعلاوه هزینه تخلیه و بارگیری مد نظر قرار می‌دهد [Beheshtinia, 2018].

۱-۲-۲. تعریف متغیرها و پارامترها

در این قسمت پارامترها و علائم بکار رفته در مدل ارائه شده به اختصار توضیح داده شده است.

پارامترها:

L,K : اندیس کشتی

D_{LP} : زمان انجام فرایند تخلیه و بارگیری کشتی L بر روی اسکله

T_L^+ : حد بالایی بازه قابل قبول برای اتمام فرایند تخلیه و بارگیری کشتی L

T_L^- : حد پایین بازه قابل قبول برای اتمام فرایند تخلیه و بارگیری کشتی L

SD_{LP} : هزینه تخلیه و بارگیری کشتی L دراسکله P

ST_L^- : هزینه انحراف منفی از پنجره زمانی تخلیه و بارگیری برای کشتی L

ST_L^+ : هزینه انحراف مثبت از پنجره زمانی تخلیه و بارگیری برای کشتی L

FT_L^- : تعداد انحراف منفی از پنجره زمانی تخلیه و بارگیری برای کشتی L

FT_L^+ : تعداد انحراف مثبت از پنجره زمانی تخلیه و بارگیری برای کشتی L

P_c : هزینه استفاده از اسکله

M : یک عدد بسیار بزرگ

متغیرهای تصمیم:

P_n : تعداد اسکله ها

T_L : زمان اتمام فرایند تخلیه و بارگیری کشتی L

$$\alpha_{LKB} = \begin{cases} 1 & \text{if L after K in P} \quad L=1...N \\ 0 & \text{otherwise} \quad P=1...K \end{cases}$$

$$\beta_{LP} = \begin{cases} 1 & \text{if L in P} \quad L=1...N \\ 0 & \text{otherwise} \quad P=1...K \end{cases}$$

۲-۲-۲. تعیین تابع هدف مدل زمان اتمام فرایند تخلیه و بارگیری کشتی و تعداد اسکله‌ها

می‌توان مدل زیر را با هدف‌های ارائه شده در بخش مفروضات به صورت زیر ارائه کرد.

$$\text{Min } Z = \sum_{L=0}^{N}\sum_{P=1}^{N} SD_{LP} \times \beta_{LP} + \sum_{L=1}^{N} ST_L^- \times FT_L^- + \sum_{L=1}^{N} ST_L^+ \times FT_L^+ + P_n P_c \quad (۱)$$

s.t.:

$$\sum_{\substack{L=0 \\ L\neq K}}^{N}\sum_{P=1}^{M} \alpha_{LKP} = 1; \forall K \quad (۲)$$

$$\sum_{\substack{L=0 \\ K\neq L}}^{N} \alpha_{LKP} = \beta_{LP}; \forall K.P \quad (۳)$$

$$\sum_{\substack{K=0 \\ K\neq L}}^{N} \alpha_{LKP} \leq \beta_{LP}\,; \forall L = 0.1.\ldots.N \quad (٤)$$

$$C_K + M(1-\alpha_{LKP}) \geq T_L + DP_{LP} \quad \forall K.P.L \neq K \quad (۵)$$

$$FT_L^+ = max\{0.T_L - T_L^+\}.\forall L \quad (٦)$$

$$FT_L^- = max\{0.T_L^- - T_L\}.\forall L \quad (۷)$$

$$T_L \geq A_L + \sum_{P=1}^{M} D_{LP} \times \beta_{LP}.\forall L \quad (۸)$$

$$T_L.T_L.T_L^+.T_L^-.FT_L^+.FT_L^-T_L \geq 0 \quad (۹)$$
$$\forall L; \alpha_{LKP}.\beta_{LKP} = \{0.1\}\forall L.K.P$$

در مدل بالا تابع هدف شماره (۱)، مجموع هزینه‌های تخلیه و بارگیری و مجموع هزینه‌های انحراف مثبت و منفی از پنجره زمانی موجود برای اتمام فرایند تخلیه و بارگیری است؛ و همچنین حداقل‌سازی تعداد اسکله‌ها ست.

محدودیت (۲) تضمین می‌کند که هر کشتی بعد از کشتی قبلی عملیات تخلیه و بارگیری را انجام می‌دهد. محدودیت (۳) مشخص می‌کند هر کشتی به یک اسکله تخصیص می‌یابد.

محدودیت (٤) تاکید می‌کند که حداکثر یک کشتی بعد از کشتی i قرار می‌گیرد. محدودیت (٥) بیانگر زمان تکمیل تخلیه و بارگیری می‌باشد. محدودیت (٦) و (۷) نیز مشخص‌کننده انحراف از پنجره زمانی می‌باشد.

محدودیت (۸) زودترین زمان در دسترس قرار گرفتن را مدنظر قرار می‌دهد. محدودیت (۹) نیز نوع متغیرهای مسأله را مشخص می‌سازد. به منظور خطی‌سازی محدودیت‌های شماره (٦) و (۷) می‌توان به ترتیب از محدودیت‌های (۱۰) و (۱۱) استفاده نمود:

$$FT_L^+ \geq T_L = T_L^+.\forall L \quad (۱۰)$$

$$FT_L^- \geq T_L^- - T_L.\forall L \quad (۱۱)$$

۲-۲. مدل تخصیص کانتینرها

این مدل تخصیص کانتینرها به اسکله و محوطه را در نظر می‌گیرد که در عمل هزینه‌های مربوطه را حداقل می‌نماید.

۲-۱-۱. تعریف متغیرها و پارامترها

در این قسمت پارامترها و علائم بکار رفته در مدل ارائه شده به اختصار توضیح داده شده است.

پارامترها:

I : اندیس نوع کانتینر

F : اندیس محوطه

G : اندیس گمرک

S : اندیس جرثقیل اسکله

H : اندیس جرثقیل محوطه و گمرک

t : اندیس دوره زمانی

V_s : ظرفیت جرثقیل S اسکله برای تخلیه و بارگیری

V_h : ظرفیت جرثقیل H محوطه برای تخلیه و بارگیری

M : یک عدد بسیار بزرگ

S_C : هزینه جرثقیل اسکله

H_C : هزینه جرثقیل محوطه و گمرک

A_{iSLt} : تعداد کانتینرهای برنامه‌ریزی شده از نوع i از جرثقیل S به کشتی L در دوره t

A'_{iLSt} : تعداد کانتینرهای برنامه ریزی شده از نوع i از کشتی L به جرثقیل S در دوره t

B_{iSFt} : تعداد کانتینرهای برنامه‌ریزی شده از نوع i از جرثقیل S به محوطه F در دوره t

B'_{iFSt} : تعداد کانتینرهای برنامه‌ریزی شده از نوع i از محوطه F به جرثقیل S در دوره t

D_{iHFt} : تعداد کانتینرهای برنامه‌ریزی شده از نوع i از جرثقیل H به محوطه F در دوره t

D'_{iFHt} : تعداد کانتینرهای برنامه‌ریزی شده از نوع i از محوطه F به جرثقیل H در دوره t

E_{iHGt} : تعداد کانتینرهای برنامه‌ریزی شده از نوع i از جرثقیل H به گمرک G در دوره t

E'_{iGHt} : تعداد کانتینرهای برنامه ریزی شده از نوع i از گمرک G به جرثقیل H در دوره t

Q_{iVGt} : تعداد کانتینرهای برنامه‌ریزی شده از نوع i از سرزمین اصلی U به گمرک G در دوره t

Q'_{iGVt} : تعداد کانتینرهای برنامه‌ریزی شده از نوع i از گمرک G به سرزمین اصلی U در دوره t

N_{iFt} : تعداد کانتینرهای موجود از نوع i در محوطه F در دوره t

O_{iGt} : تعداد کانتینرهای موجود از نوع i در گمرک G در دوره t

CA_{iSLt} : هزینه انتقال یک کانتینر از نوع i از جرثقیل S به کشتی L در دوره t

CA'_{iLSt} : هزینه انتقال یک کانتینر از نوع i از کشتی L به جرثقیل S در دوره t

CB_{iSFt} : هزینه انتقال یک کانتینر از نوع i از جرثقیل S به محوطه F در دوره t

CB'_{iFSt} : هزینه انتقال یک کانتینر از نوع i از محوطه F به جرثقیل S در دوره t

CD_{iHFt} : هزینه انتقال یک کانتینر از نوع i از جرثقیل H به محوطه F در دوره t

CD'_{iFHt} : هزینه انتقال یک کانتینر از نوع i از محوطه F به جرثقیل H در دوره t

CE_{iHGt} : هزینه انتقال یک کانتینر از نوع i از جرثقیل H به گمرک G در دوره t

CE'_{iGHt} : هزینه انتقال یک کانتینر از نوع i از گمرک G به جرثقیل H در دوره t

CQ_{iVGt} : هزینه انتقال یک کانتینر از نوع i از سرزمین اصلی U به گمرک G در دوره t

CQ'_{iGVt} : هزینه انتقال یک کانتینر از نوع i از گمرک G به سرزمین اصلی U در دوره t

CP_{iF} : هزینه آماده‌سازی محوطه F برای نگهداری یک کانتینر از نوع i

CP_{iG} : هزینه آماده‌سازی گمرک G برای نگهداری یک کانتینر از نوع i

TA_{iSLt} : زمان مورد نیاز جهت انتقال یک کانتینر از نوع i از جرثقیل S به کشتی L در دوره t

TA'_{iLSt} : زمان مورد نیاز جهت انتقال یک کانتینر از نوع i از کشتی L به جرثقیل S در دوره t

TB_{iSFt} : زمان مورد نیاز جهت انتقال یک کانتینر از نوع i از جرثقیل S به محوطه F در دوره t

TB'_{iFSt} : زمان مورد نیاز جهت انتقال یک کانتینر از نوع i از محوطه F به جرثقیل S در دوره t

TD_{iHFt} : زمان مورد نیاز جهت انتقال یک کانتینر از نوع i از جرثقیل H به محوطه F در دوره t

TD'_{iFHt} : زمان مورد نیاز جهت انتقال یک کانتینر از نوع i از محوطه F به جرثقیل H در دوره t

TE_{iHGt} : زمان مورد نیاز جهت انتقال یک کانتینر از نوع i از جرثقیل H به گمرک G در دوره t

TE'_{iGHt} : زمان مورد نیاز جهت انتقال یک کانتینر از نوع i از گمرک G به جرثقیل H در دوره t

TQ_{iVGt} : زمان مورد نیاز جهت انتقال یک کانتینر از نوع i از سرزمین اصلی U به گمرک G در دوره t

TQ'_{iGVt} : زمان مورد نیاز جهت انتقال یک کانتینر از نوع i از گمرک G به سرزمین اصلی U در دوره t

T_L : زمان اتمام فرایند تخلیه و بارگیری کشتی L

متغیرهای تصمیم:

a_{iSLt} : تعداد کانتینرهای تخصیص داده شده از نوع i از جرثقیل S به کشتی L در دوره t

a'_{iLSt} : تعداد کانتینرهای تخصیص داده شده از نوع i از کشتی L به جرثقیل S در دوره t

b_{iSFt} : تعداد کانتینرهای تخصیص داده شده از نوع i از جرثقیل S به محوطه F در دوره t

b'_{iFSt} : تعداد کانتینرهای تخصیص داده شده از نوع i از محوطه F به جرثقیل S در دوره t

d_{iHFt} : تعداد کانتینرهای تخصیص داده شده از نوع i از جرثقیل H به محوطه F در دوره t

d'_{iFHt} : تعداد کانتینرهای تخصیص داده شده از نوع i از محوطه F به جرثقیل H در دوره t

e_{iHGt} : تعداد کانتینرهای تخصیص داده شده از نوع i از جرثقیل H به گمرک G در دوره t

e'_{iGHt} : تعداد کانتینرهای تخصیص داده شده از نوع i از گمرک G به جرثقیل H در دوره t

q_{iVGt} : تعداد کانتینرهای تخصیص داده شده از نوع i از سرزمین اصلی U به گمرک G دردوره t

q'_{iGVt} : تعداد کانتینرهای تخصیص داده شده از نوع i از گمرک G به سرزمین اصلی U دردوره t

S_n : تعداد جرثقیل اسکله

H_n : تعداد جرثقیل محوطه و گمرک

x_{iFt} اگر در بازه زمانی t کانتینر از نوع i در محوطه F موجود باشد 1؛ در غیر این صورت 0

y_{iGt} اگر در بازه زمانی t کانتینر از نوع i در گمرک G موجود باشد 1؛ در غیر این صورت 0

۲-۱-۲. تعیین تابع هدف مدل تخصیص کانتینر ها

می‌توان مدل زیر را با هدف‌های ارائه شده در بخش مفروضات به صورت زیر ارائه کرد.

تابع هدف اصلی مسأله به صورت زیر تعیین می شود:

$$\begin{aligned}\text{Min } Z' = &\sum_{F} CP_{iF} \times N_{iFt} + \sum_{G} CP_{iG} \times O_{iGt} \\ &+ \sum_{S.L} CA_{iSLt} \times a_{iSLt} + \sum_{L.S} CA'_{iLSt} \times a'_{iLSt} \\ &+ \sum_{S.F} CB_{iSFt} \times b_{iSFt} + \sum_{F.S} CB'_{iFSt} \times b'_{iFSt} \\ &+ \sum_{H.F} CD_{iHFt} \times d_{iSFt} + \sum_{F.H} CD'_{iFHt} \times d'_{iFHt} \\ &+ \sum_{H.G} CE_{iHGt} \times e_{iHGt} + \sum_{G.H} CE'_{iGHt} \times e'_{iGHt} \\ &+ \sum_{V.G} CQ_{iVGt} \times q_{iVGt} + \sum_{G.V} CQ'_{iGVt} \times q'_{iGVt} \\ &+ S_n S_c + H_n H_c \end{aligned} \quad (۱۱)$$

s.t.:

$$\sum_{S.L} a_{iSLt} = A_{iSLt} \quad \forall_{i.t} \quad (۱۲)$$

$$\sum_{L.S} a'_{iLSt} = A'_{iLSt} \quad \forall_{i.t} \quad (۱۳)$$

$$\sum_{S.F} b_{iSFt} = B_{iSFt} \quad \forall_{i.t} \quad (۱٤)$$

$$\sum_{F.S} b'_{iFSt} = B'_{iFSt} \quad \forall_{i.t} \quad (۱٥)$$

$$\sum_{H.F} d_{iHFt} = D_{iHFt} \quad \forall_{i.t} \quad (۱٦)$$

$$\sum_{F.H} d'_{iFHt} = D'_{iFHt} \quad \forall_{i.t} \quad (۱۷)$$

$$\sum_{H.G} e_{iHGt} = E_{iHGt} \quad \forall_{i.t} \tag{۱۸}$$

$$\sum_{G.H} e'_{iGHt} = E'_{iGHt} \quad \forall_{i.t} \tag{۱۹}$$

$$\sum_{V.G} q_{iVGt} = Q_{iVGt} \quad \forall_{i.t} \tag{۲۰}$$

$$\sum_{G.V} q'_{iGVt} = Q'_{iGVt} \quad \forall_{i.t} \tag{۲۱}$$

$$N_{iFt-1} + \sum_{S.F} b_{iSFt} - \sum_{F.S} b'_{iFSt} + \sum_{H.F} d_{iHFt} - \sum_{F.H} d'_{iFHt} = N_{iFt} \tag{۲۲}$$

$$O_{iGt-1} + \sum_{H.G} e_{iHGt} - \sum_{G.H} e'_{iGHt} + \sum_{V.G} q_{iVGt} - \sum_{G.V} q'_{iGVt} = O_{iGt} \tag{۲۳}$$

$$N_{iFt} \le M \times X_{iFt} \tag{۲٤}$$

$$O_{iGt} \le M \times Y_{iGt} \tag{۲۵}$$

$$\sum_{i} N_{iFt} \le V_F \tag{۲٦}$$

$$\sum_{i} O_{iGt} \le V_G \tag{۲۷}$$

$$\left(\sum_{S.L} TA_{iSLt} \times a_{iSLt} + \sum_{L.S} TA'_{iLSt} \times a'_{iLSt} + \sum_{S.F} TB_{iSFt} \times b_{iSLt} + \sum_{F.S} TB'_{iFSt} \times b'_{iFSt} + \sum_{H.F} TD_{iHFt} \times d_{iSLt} + \sum_{F.H} TD'_{iFHt} \times d'_{iFHt} + \sum_{H.G} TE_{iHGt} \times e_{iHGt} + \sum_{G.H} TE'_{iGHt} \times e'_{iGHt} + \sum_{V.G} TQ_{iVGt} \times q_{iVGt} + \sum_{G.V} TQ'_{iGVt} \times q'_{iGVt}\right) \le T_L \tag{۲۸}$$

$$\sum_{i.L} (a_{iSLt} + a'_{iLSt}) + \sum_{i.F} (b_{iSFt} + b'_{iFSt}) \le V_S \quad \forall_{S.t} \tag{۲۹}$$

$$\sum_{i.F} (d_{iHFt} + d'_{iFHt}) + \sum_{i.G} (e_{iHGt} + e'_{iGHt}) \le V_H \quad \forall_{H.t} \tag{۳۰}$$

$$a_{iSLt}, a'_{iLSt}, b_{iSFt}, b'_{iFSt}, d_{iHFt}, d'_{iFHt}, e_{iHGt}, e'_{iGHt}, q_{iVGt}, q_{iGVt} \ge 0 \ \& \ integer$$
$$X_{iFt} = \{0.1\}$$
$$Y_{iFt} = \{0.1\}$$

(۳۱)

معادله‌ی شماره (۱۱) مشخص کننده تابع هدفی است که سعی در کاهش هزینه‌های در نظر گرفتن فضا برای انواع کانتینر و هزینه‌های حمل و نقل است.

مزیتی که در این معادله به سیستم وارد می‌آورد این است که سعی در کاهش تعداد محوطه‌های مورد استفاده می‌نماید این امر موجب ایجاد چگالی بیشتر برای قرار گیری کانتینرها در محوطه‌ها می‌شود. همچنین حداقل‌سازی تعداد جرثقیل‌های محوطه و اسکله است.

محدودیت شماره (۱۲) تا (۲۱) بیان‌کننده‌ی اختصاص کانتینرها از انواع مختلف از جمله کانتینرهای خالی به جرثقیل های اسکله، جرثقیل‌های محوطه، کشتی‌ها، محوطه، گمرک و سرزمین اصلی به صورت رفت و برگشتی، برطبق برنامه است.

محدودیت شماره (۲۲) مربوط به ایجاد تعادل در تعداد موجود از هر نوع از کانتینرها در هرکدام از محوطه در پریودهای مختلف می‌باشد. محدودیت شماره (۲۳) مربوط به ایجاد تعادل در تعداد موجود از هر نوع از کانتینرها در هرکدام از گمرک در پریودهای مختلف می‌باشد. محدودیت شماره (۲٤) مشخص‌کننده‌ی این است که آیا در یک محوطه از یک نوع خاص از کانتینرها وجود دارد یا خیر. محدودیت شماره (۲۵) مشخص‌کننده‌ی این است که آیا در یک گمرک از یک نوع خاص از کانتینرها وجود دارد یا خیر.

محدودیت شماره (۲٦) بیانگر این است که حداکثر به اندازه‌ی ظرفیت یک محوطه می‌توان در یک محوطه کانتینر قرار داد. محدودیت شماره (۲۷) بیانگر این است که حداکثر به اندازه‌ی ظرفیت یک گمرک می‌توان در یک گمرک کانتینر قرار داد. محدودیت شماره (۲۸) بیان‌کننده‌ی ظرفیت زمانی محدود در رابطه با زمان اتمام فرایند تخلیه و بارگیری کشتی L می‌باشد. که خروجی الگوریتم شماره یک است.

محدودیت شماره (۲۹) بیان کننده ظرفیت محدود جرثقیلها در انتقال کانتینرها از بندر به کشتی ها و از کشتی‌ها به بندر می‌باشد. محدودیت شماره (۳۰) بیان کننده ظرفیت محدود جرثقیل‌ها در انتقال کانتینرها در محوطه و گمرک می‌باشد. محدودیت شماره (۳۱) نشاندهنده‌ی ویژگی‌های مثبت بودن و عدد صحیح بودن متغیرهای مسأله است.

۳. الگوریتم های حل مسأله

همانطور که در قسمت قبل مشاهده گردید با دو زیر مسأله مواجه هستیم که دارای دو الگوریتم برای حل تخصیص کانتینرها با توجه به موارد گفته شده می باشد ، که رویکرد کمی دارد و در آن مفاهیم در قالب متغیر های مشخص در آزمون فرض معرفی شده، سپس جمع آوری داده های عددی و تعیین معیارها و در انتها تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده نمایش داده می شود. به علت NP-Hard بودن مسأله به دست اوردن جواب بهینه در زمان معقول امکان پذیر نیست [Park, 2002]. پس از مدلسازی ریاضی، بعلت پیچیدگی مسأله ، برای حل از دو الگوریتم ابتکاری استفاده شده است.

۳-۱. تخصیص کشتی‌ها

به حداقل رساندن زمان انتظار یا زمان تخلیه و بارگیری کشتی‌ها، باعث می‌شود که کشتی‌ها مدت زمان کمتری را در پایانه‌های کانتینری متوقف بمانند. در این صورت علاوه بر اینکه پایانه قادر است در مدت زمان ثابت به تعداد کشتی بیشتری خدمت‌رسانی کند، در رقابت با سایر پایانه‌های کانتینری نیز موفق خواهد بود. لازم به ذکر است در صورتیکه زمان انتظار و زمان تخلیه و بارگیری کشتی به صورت همزمان به حداقل مقدار خود برسند، زمان توقف کشتی در بندر نیز به حداقل خود می‌رسد.

برای حل این قسمت از الگوریتم ازدحام ذرات استفاده شده است؛ و از آنجایی که روش بهینه‌سازی ذرات روشی است که بر اساس جمعیت جواب اولیه کار می‌کند لذا در این بخش می‌بایست به ارائه روشی بپردازیم که بتواند جمعیتی جواب اولیه بسازد. لذا در این قسمت به ارائه روش‌های متفاوت برای ایجاد جواب اولیه و سپس نمایش جواب می‌پردازیم.

۳-۱- ۱ تولید جواب اولیه

روش اول: این روش به کشتی‌هایی که دارای حد پایین پنجره زمانی کمتری می‌باشند عدد کمتر اعشاری کمتر اختصاص می‌دهد و بخش صحیح را به طور تصادفی تولید می‌کند.

روش دوم: این روش به کشتی‌هایی که دارای حد پایین پنجره زمانی کمتر می‌باشند اسکله‌ای را تخصیص می‌دهد که زمان تخلیه و بارگیری کمتری دارد.

روش سوم: در این روش کشتی‌ها به اسکله با کمترین هزینه‌ی تخلیه و بارگیری تخصیص می‌یابد.

روش چهارم: این روش به طور تصادفی به ایجاد جواب اولیه می‌پردازد. در این روش تخصیص کشتی به اسکله به صورت تصادفی صورت می‌گیرد.

میزان جواب‌های اولیه تولید شده توسط روش‌های اول و دوم و سوم هرکدام ۳۰ درصد می‌باشد و ده درصد جواب‌ها نیز به طور تصادفی تولید می‌گردد. در روش‌های اول و دوم تمرکز بر این است که آن بخشی از ذره که مربوط به ابتدا و انتهای پنجره زمانی است را مورد بررسی قرار دهد روش سوم سعی در بررسی نقطه میانی بازه‌ی زمانی دارد.

۳-۱- ۲ نمایش جواب

در مسأله تخصیص کشتی‌ها به اسکله می‌بایست کشتی به تعدادی اسکله تخصیص یابد. به این منظور به ارائه روش نمایش جواب در مسأله‌ی تخصیص کشتی‌ها به اسکله پرداخته‌ایم. در این روش چند کشتی و چند اسکله در نظر گرفته می‌شود و سپس به ازای هر کشتی یک اسکله می‌بایست در نظر گرفته شود که بخش صحیح عددی که در هر درایه قرار دارد نشان‌دهنده شماره اسکله می‌باشد. به منظور نمایش توالی قرارگیری کارها هر کدام از درایه‌ها شامل

بخش اعشاری نیز می‌باشند. بنابراین بین کشتی‌هایی که به یک اسکله تخصیص یافته است، کشتیی که دارای بخش اعشاری کوچکتری می‌باشد، زودتر در اسکله پهلوگیری می‌کند. جدول شماره (۲)، نمایش دهنده این روش نمایش جواب است. همانطور که در جدول شماره (۲) می‌بینید یک توالی با ۱۰ کشتی و ۳ اسکله نمایش داده شده است. آرایه‌هایی که بخش صحیح آنها عدد ۱ است، نشانگر کشتی‌هایی است که به اسکله شماره ۱ تخصیص یافته‌است. بنابر این کشتی‌های شماره ۱ و ۷ و ۱۰ به اسکله‌ی شماره‌ی ۱ اختصاص یافته است و با توجه به اینکه کشتی شماره ۱۰ دارای بخش اعشاری بزرگتری است بعد از کشتی‌های شماره ۱ و۳ پهلوگیری می‌کند.

جدول ۲. نحوه نمایش جواب

کشتی ۱	کشتی ۳	کشتی ۱۰	کشتی ۲	کشتی ۶	کشتی ۵	کشتی ۴	کشتی ۹	کشتی ۸	کشتی ۷
۱.۱۷	۳.۳۱	۲.۸۳	۲.۱۹	۳.۵۱	۲.۴۴	۱.۴۴	۳.۷۴	۲.۶۸	۱.۶۱
اسکله ۱	اسکله ۳	اسکله ۱	اسکله ۲	اسکله ۳	اسکله ۲	اسکله ۱	اسکله ۳	اسکله ۲	اسکله ۱

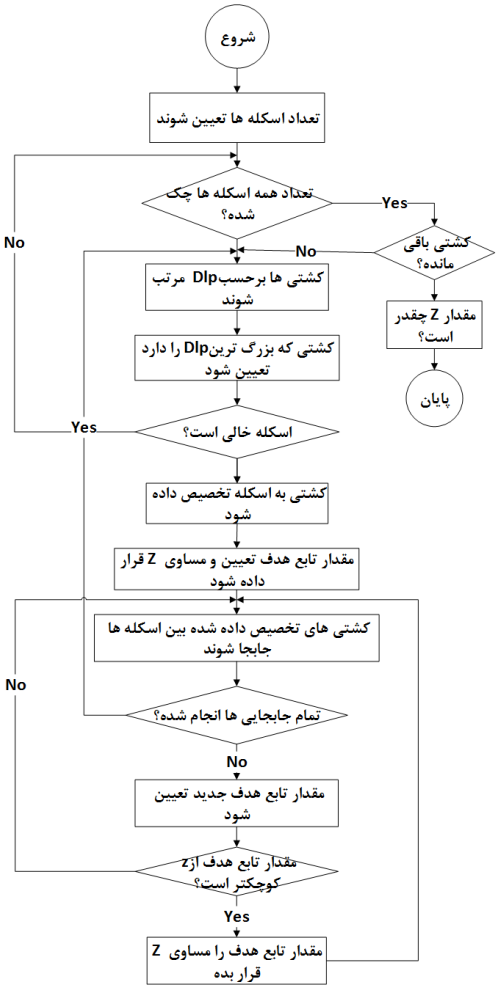
در شکل شماره (۲) الگوریتم تخصیص کشتی‌ها به صورت فلوچارت با کمینه کردن دو هدف زیر نشان داده شده است:

- زمان تخلیه و بارگیری کشتی
- تعداد اسکله ها

۳-۲ الگوریتم تخصیص کانتینرها

روال و توالی انجام عملیات در پایانه‌های کانتینری برای کانتینرهایی که از طریق خشکی یا همان سرزمین اصلی (جاده یا ریل) وارد بندر می‌شوند به این صورت است که در ابتدا این کانتینرها وارد گمرک شده و پس از انجام عملیات بازرسی و امور گمرکی به محوطه بندر وارد می‌شوند این کانتینرها در محوطه‌های بنادر دپو شده و سپس بر کشتی‌های پهلوگرفته بارگیری می‌شوند. همینطور کانتینرهایی که از کشتی‌ها تخلیه می‌شوند به طور موقت در محوطه های بندر دپو شده و با توجه به برنامه‌ی گمرک ، به گمرک جهت ترخیص انتقال داده می‌شوند.

همانطور که در قسمت قبل گفته شد خروجی الگوریتم تخصیص کشتی ها به اسکله ها؛ زمان تخلیه و بارگیری کشتی‌ها و تعداد اسکله‌ها می باشد که در این الگوریتم به عنوان پارامتر یا ورودی مسأله می باشد.



شکل ۲. الگوریتم تخصیص کشتی ها

تخصیص کانتینرها به ۱۰ قسمت تقسیم می‌شود:

- تخصیص کانتینرها به جرثقیل اسکله از کشتی
- تخصیص کانتینرها به کشتی از جرثقیل اسکله
- تخصیص کانتینرها به جرثقیل اسکله از محوطه
- تخصیص کانتینرها به محوطه از جرثقیل اسکله
- تخصیص کانتینرها به جرثقیل محوطه از محوطه
- تخصیص کانتینرها به محوطه از جرثقیل محوطه
- تخصیص کانتینرها به جرثقیل محوطه از گمرک

- تخصیص کانتینرها به گمرک از جرثقیل محوطه
- تخصیص کانتینرها به سرزمین اصلی از گمرک
- تخصیص کانتینرها به گمرک از سرزمین اصلی

از طرف دیگر در الگوریتم ارائه شده تعداد جرثقیل‌های اسکله و جرثقیل‌های محوطه به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته شده است و مقدار بهینه آنها به دست آمده است.

به منظور حل مسأله از رویکرد الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. هر چه ابعاد مسأله افزایش می‌یابد، میزان شکاف بهینگی افزایش می‌یابد که این شکاف قابل مدیریت است. همینطور نتایج نشان می‌دهد که ایجاد جواب‌های اولیه‌ی مناسب می‌تواند به خوبی منجر به بهبود خروجی‌های رویکرد ژنتیک گردد.

تحلیل حساسیت بر روی سه پارامتر ظرفیت محوطه‌ها و گمرک‌ها، ظرفیت جرثقیل‌های اسکله و محوطه، هزینه‌ی آماده‌سازی های محوطه و گمرگ صورت گرفته نشان می‌دهد که هرکدام از این سه عامل به طور قابل ملاحظه‌ای بر خروجی‌های مدل اثر گذار است. مشخص است که با افزایش ظرفیت محوطه‌ها، گمرک ها و جرثقیل‌ها، مدل به خروجی‌های بهتری می‌رسد. با توجه به اینکه مدل حداقل‌سازی است، با افزایش ظرفیت‌ها میزان تابع هدف کاهش می‌یابد. مشخص است که اگر ظرفیت‌ها از حد مشخصی فراتر رود، عملاً محدودیت‌های مربوطه بدون استفاده خواهد گردید یا به عبارت بهتر این محدودیت‌ها هرگز مورد استفاده قرار نخواهند گرفت.

۳-۲- ۱ نمایش کروموزوم

در مسأله مورد بررسی ، کروموزوم مربوطه را به چند بخش تقسیم می‌کنیم. به منظور نمایش جواب از کروموزوم دو سطری استفاده می‌شود سطر اول نشان‌دهنده کانتینرها از جرثقیل اسکله به کشتی، جرثقیل اسکله به محوطه، جرثقیل محوطه به محوطه، جرثقیل محوطه به گمرک و سرزمین اصلی به گمرک می‌باشد. سطر دوم نشان‌دهنده‌ی مسیر برعکس یعنی کانتینرها از کشتی به جرثقیل اسکله، محوطه به جرثقیل اسکله، محوطه به جرثقیل محوطه، گمرک به جرثقیل محوطه و گمرک به سرزمین اصلی است. همینطور هرکدام از این سطرهای اصلی دارای تعدادی سطر فرعی به تعداد انواع کانتینرها است.

در شکل (۳) نمایش کروموزوم، بخش‌های مختلف موارد مطرح شده نمایش داده شده است.

۳-۲- ۲. قواعد حل مسأله

- قاعده اول: در این قاعده شانس انتقال کانتینر بین گمرک و محوطه‌ای (یا بالعکس) که دارای هزینه‌ی کمتری است، بیشتر می‌باشد.
- قاعده دوم: در این قاعده شانس انتقال کانتینر بین محوطه و جرثقیلی که هزینه‌ی کمتری دارد بیشتر است.
- قاعده سوم: در این قاعده به طور مشترک سعی می‌گردد شانس انتقال کانتینرهایی که در هر مسیر کمترین هزینه را دارد، بیشتر گردد.

به منظور استفاده از قواعد بالا با احتمال ۰،۳ از هرکدام در ایجاد جوابهای اولیه استفاده می‌شود.

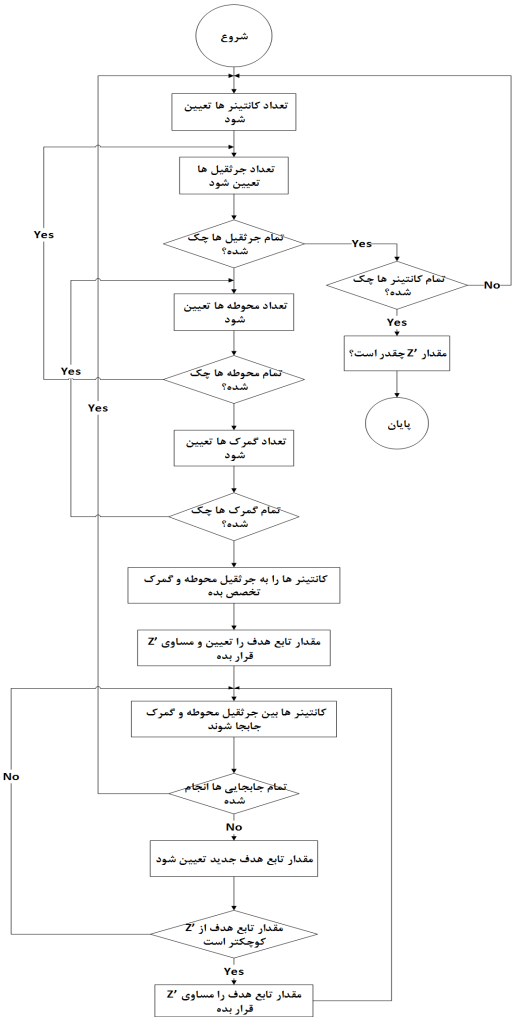
در شکل شماره (٤) الگوریتم تخصیص کانتینرها به صورت فلوچارت با کمینه کردن دو اهداف مطرح شده نشان داده شده است.

٤. اجرای الگوریتم و اعتبارسنجی

برای اعتبار سنجی الگوریتم مسأله در سه اندازه کوچک، متوسط و بزرگ حل شده است در اندازه کوچک تعداد ۵ کشتی با ۵ هزار کانتینر، در اندازه متوسط تعداد ۲۵ کشتی با ۵۰۰ هزار کانتینر و در در اندازه بزرگ نیز تعداد ۵۰ کشتی با دو میلیون کانتینر در نظر گرفته شده است. هر یک از حالت‌های بالا برای یک و ده دوره زمانی حل گردیده است. برای مقایسه نیز بندر شهید رجایی بندرعباس در سال ۹٦ انتخاب گردیده است.

...	U=2	U=1		UG	...	H=2	H=1		HG	...	H=2	H=1		HF	...	S=2	S=1		SF	...	S=2	S=1		SL
			i=1					i=1					i=1					i=1					i=1	
			i=2					i=2					i=2					i=2					i=2	
			...					...					...					...					...	
...	G=2	G=1		GU	...	G=2	G=1		GH	...	F=2	F=1		FH	...	F=2	F=1		FS	...	L=2	L=1		LS
			i=1					i=1					i=1					i=1					i=1	
			i=2					i=2					i=2					i=2					i=2	
			...					...					...					...					...	
سرزمین اصلی و گمرک گمرک و سرزمین اصلی					جرثقیل محوطه و گمرک گمرک و جرثقیل محوطه					جرثقیل محوطه و محوطه محوطه و جرثقیل محوطه					جرثقیل اسکله و محوطه محوطه و جرثقیل اسکله					جرثقیل اسکله و کشتی کشتی و جرثقیل اسکله				

شکل ۳. نمایش کروموزوم



شکل ٤. الگوریتم تخصیص کانتینرها

مجتمع بندری شهید رجایی بندرعباس از مهم‌ترین بنادر ایران به شمار می‌رود، تخلیه و بارگیری سالانه حدود ۱۰۰ میلیون تن کالا، به تنهایی بیش از ۵۵ درصد صادرات و واردات و ۷۰ درصد ترانزیت بنادر کشور را برعهده دارد. همچنین تخلیه ۹۰ درصد بارگیری کالاهای کانتینری کشور در این مجتمع انجام می‌گیرد.

این بندر در فاصله ۲۳ کیلومتری غرب بندرعباس مرکز استان هرمزگان واقع شده و با بیش از ٤٨٠٠ هکتار وسعت (محدوده عملیاتی و پس کرانه)، ظرفیت پذیرش سالانه بیش از ۸۸ میلیون تن کالا را دارد.این بندر در سال ۲۰۱۲ با ۸۰ بندر جهان، تبادل کالا انجام داده است.

تا پیش از شروع تحریم‌های ایالات متحده آمریکا علیه این بندر ۳۰ خط کشتیرانی جهان، اقدام به تخلیه کالاهای خود در این بندر می‌نمودند [Mehri and Haghshenas, 2018].

همانطور که در جدول شماره (۳) مشاهده می‌شود، ردیف های اول جدول مربوط به حل متغیرهای تصمیم الگوریتم پیشنهادی و ردیف دوم مربوط به خروجی بندر با ورودی های فرض شده و ردیف سوم اختلاف بین حل الگوریتم و خروجی‌های بندر است. در ستون‌های اول تا دهم خروجی‌های الگوریتم و بندر در حالت‌های مختلف می باشد که همان‌طور که در قسمت‌های رنگی شده قابل مشاهده هست این اختلاف بسیار معنادار می‌باشد و نشان دهنده

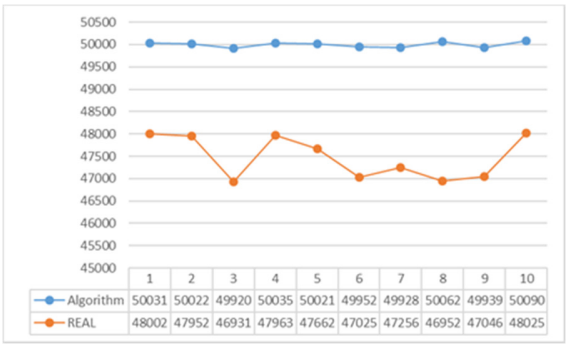
کارایی بالایی الگوریتم در حل مسأله می‌باشد که موجب پایین آمدن هست بیمه در بنادر و استفاده بهینه از آنها می‌باشد.

جدول ۳. مقایسه تخصیص کانتینرها

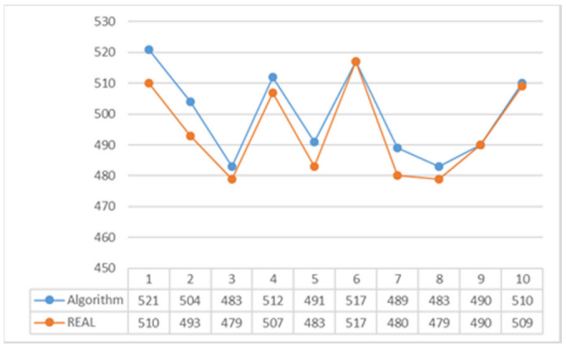
تعداد دوره	تعداد کانتینر	تعداد کشتی	تخصیص کانتینرها										مقایسه
			a_{iSLt}	a'_{iLSt}	b_{iSFt}	b'_{iFSt}	d_{iHFt}	d'_{iFHt}	e_{iHGt}	e'_{iGHt}	q_{iVGt}	q'_{iGVt}	مجموع
			REAL	REAL	REAL	REAL	REAL	REAL	REAL	REAL	REAL	REAL	REAL
			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	5000	5	521	504	483	512	491	517	489	483	490	510	5000
			510	493	479	507	483	517	480	479	490	509	4947
			2.11	2.18	0.83	0.98	1.63	0.00	1.84	0.83	0.00	0.20	1.06
10	5000	5	509	503	507	493	504	501	495	503	482	503	5000
			491	481	488	460	489	491	488	493	472	488	4841
			3.54	4.37	3.75	6.69	2.98	2.00	1.41	1.99	2.07	2.98	3.18
1	500000	25	50031	50022	49920	50035	50021	49952	49928	50062	49939	50090	500000
			48002	47952	46931	47963	47662	47025	47256	46952	47046	48025	474814
			4.06	4.14	5.99	4.14	4.72	5.86	5.35	6.21	5.79	4.12	5.04
10	500000	25	50041	49901	50052	50064	49899	50061	50009	49963	50030	49980	500000
			44090	44096	45350	45963	45896	45963	44874	44960	44998	45221	451411
			11.89	11.63	9.39	8.19	8.02	8.19	10.27	10.01	10.06	9.52	9.72
1	2000000	50	200112	198252	200062	200158	199025	198025	201209	201225	199631	202301	2000000
			170310	170256	169850	171003	170522	169321	171125	172020	169950	172001	1706358
			14.89	14.12	15.10	14.57	14.32	14.50	14.95	14.51	14.87	14.98	14.68
10	2000000	50	200025	200025	200005	200360	199875	199925	200058	200147	199963	199617	2000000
			156352	156960	157740	158620	156358	156002	156023	157462	156871	156693	1569081
			21.83	21.53	21.13	20.83	21.77	21.97	22.01	21.33	21.55	21.50	21.55

شکل شماره (۵) تعداد ۵ کشتی با ۵ هزار کانتینر در یک دوره زمانی که در اینجا منظور یک ماه است را نشان می‌دهد. این حالت در ابتدا توسط الگوریتم ارائه شده حل شده و سپس با واقعیت موجود در بندر شهید رجایی مقایسه شده است؛ همان طور که مشاهده می‌کنید تفاوت معناداری در این مورد وجود ندارد. در شکل (٦) مسأله با همان تعداد کشتی و کانتینر حل شده است. تنها تفاوت در تعداد دوره‌های بررسی شده است، که در این حالت ۱۰ دوره زمانی مورد بررسی قرار گرفته است. نحوه نمایش به شکل ۵/۵۰۰۰/۱۰ می باشد که عدد اول نشان دهنده تعداد کشتی‌ها عدد دوم نشان دهنده تعداد کانتینرها و عدد سوم تعداد دوره‌های مورد بررسی است. در شکل (۷) حالت ۲۵/۵۰۰۰۰۰/۱ مورد مطالعه قرار می‌گیرد، که به صورت واضح با بزرگ تر شدن مسأله اختلاف معناداری در حل آن نمایان می‌شود. در شکل (۸) اختلاف معنادار را در حالت ۲۵/۵۰۰۰۰۰/۱۰ نشان می‌دهد که به ۹,۷۲ درصد می رسد. این مسأله در حالت بزرگ نیز، یعنی با ۵۰ کشتی و ۲ میلیون کانتینر در دو دوره زمانی حل شده است. اختلاف در موارد ذکر شده به ترتیب ١٤,٦٨ درصد و ۲۱,۵۵ درصد شکل های (۹) و (۱۰) مشهود است. در جدول شماره (٤) در ستون اول تا چهارم زمان تخلیه و بارگیری کشتی، تعداد اسکله‌ها، تعداد جرثقیل های اسکله و تعداد جرثقیل های محوطه به ترتیب نشان داده شده است.نکته قابل ذکر در مورد رسم شکل (۵) تا (۱۰) این است که تخصیص کانتینرها برای هر دوره، (در ۱۰ تخصیص توضیح داده شده) توسط الگوریتم ارائه شده و با داده‌های بندر مقایسه شده است. در مقابل شکل‌های (۱۱) تا (١٤) رسم شکل‌ها بر اساس الگوریتم‌های ارائه شده و داده های بندر در دوره‌های مختلف رفع شده است. شکل شماره (۱۱) مدت زمان تخلیه و بارگیری کشتی در ٦ دوره مختلف را با هم بررسی کرده است و همانطور که مشاهده می‌شود مدت زمان تخلیه و بارگیری کشتی با افزایش دوره‌ها در الگوریتم کاهش می‌یابد و در مقابل داده‌های بندر روند افزایشی را نشان می‌دهد. شکل (۱۲) کاهش تعداد اسکله‌ها در

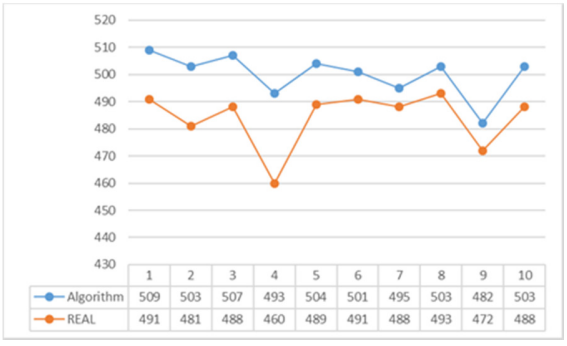
الگوریتم ارائه شده در دوره‌های مختلف را نشان می‌دهد. شکل



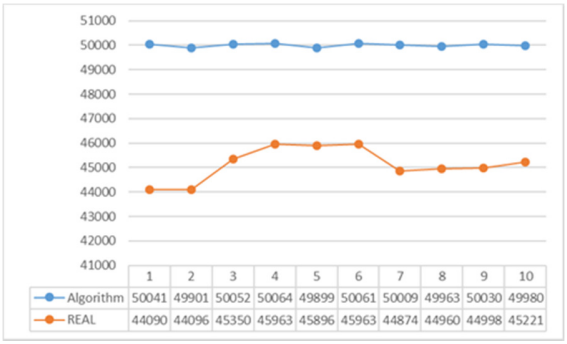
های (۱۳) و (۱٤) به ترتیب تعداد جرثقیل‌های اسکله و جرثقیل های محوطه را در ٦ دوره با تعداد کشتی‌ها و کانتینرهای مختلف را نشان می‌دهد. کاهش چشمگیر تعداد اسکله‌ها و تعداد جرثقیلهای اسکله و محوطه باعث کاهش هزینه ها می گردد که خود گویای کارایی الگوریتم ارائه شده است.



شکل ۵. ۵/۵۰۰۰/۱

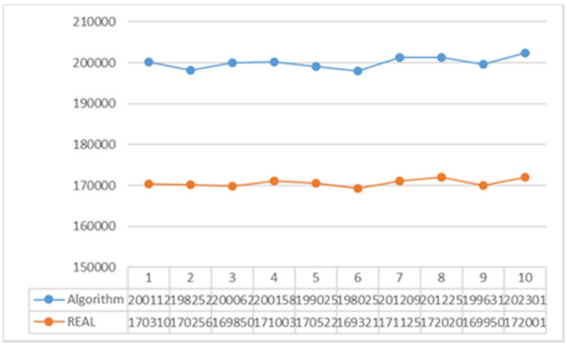


شکل ٦. ۵/۵۰۰۰/۱۰

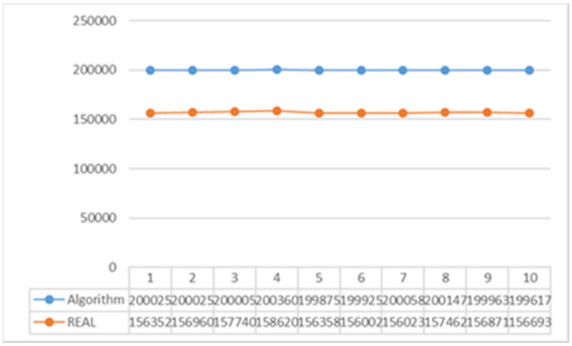


شکل ۷. ۲۵/۵۰۰۰۰۰/۱

شکل ۸. ۵۰/۲۰۰۰۰۰۰/۱



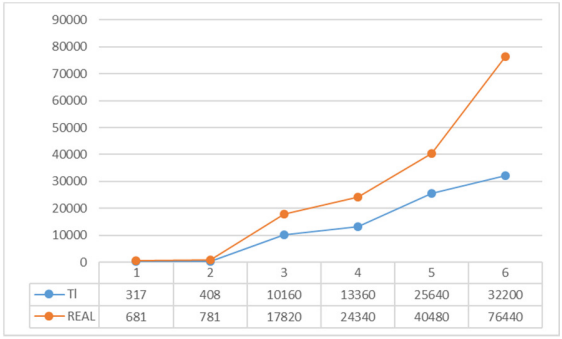
شکل ۹. ۲۵/۵۰۰۰۰۰/۱۰



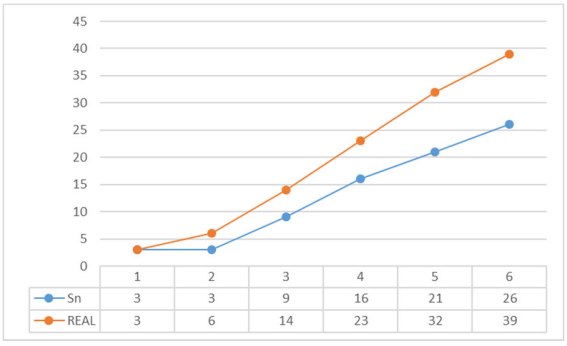
شکل ۱۰. ۵۰/۲۰۰۰۰۰۰/۱۰

جدول ٤. مقایسه زمان تخلیه و بارگیری، تعداد اسکله، تعداد جرثقیل اسکله و تعداد جرثقیل محوطه

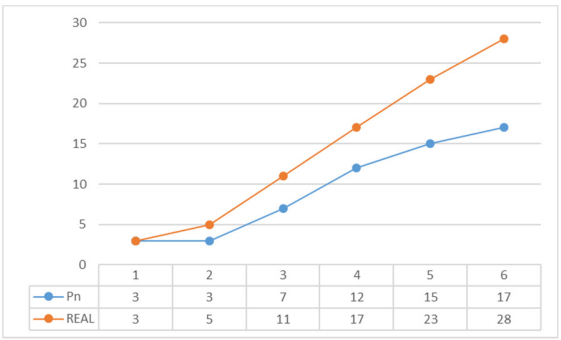
تعداد کشتی	تعداد کانتینر	تعداد دوره	زمان ت . ب	تعداد اسکله	جرثقیل	
			T_L	P_n	S_n	H_n
			REAL	REAL	REAL	REAL
			%	%	%	%
5	5000	1	317	3	3	10
			681	3	3	11
			364	0	0	1
5	5000	10	408	3	3	17
			781	5	6	21
			373	2	3	4
25	500000	1	10160	7	9	28
			17820	11	14	34
			7660	4	5	6
25	500000	10	13360	12	16	36
			24340	17	23	51
			10980	5	7	15
50	2000000	1	25640	15	21	61
			40480	23	32	93
			14840	8	11	32
50	2000000	10	32200	17	26	79
			76440	28	39	118
			44240	11	13	39



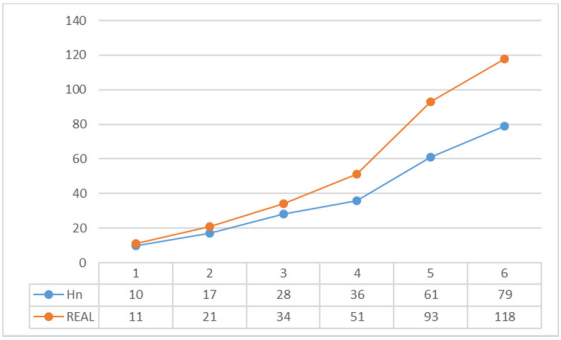
شکل ١١. زمان تخلیه و بارگیری



شکل ١٣. تعداد جرثقیل اسکله



شکل ١٢. تعداد اسکله



شکل ١٤. تعداد جرثقیل محوطه

هر چه ابعاد مسأله افزایش می‌یابد، میزان شکاف بهینگی افزایش می‌یابد که این شکاف قابل مدیریت است. همینطور نتایج نشان می‌دهد روش الگوریتم بهینه‌سازی پیشنهادی تا حدود زیادی نتایج مناسبی را ایجاد می‌نماید.

۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با پیشرفت حمل و نقل دریایی و توسعه بنادر و همچنین استفاده روز افزون از کشتی‌های پیشرفته در دریاها و حمل و نقل دریایی، ارائه راهکاری که بتواند هزینه‌های حمل و نقل را در این حوزه کاهش دهد و از طرف دیگر استفاده بهتر از فضای موجود در بنادر را بهبود دهد؛ مشکلات موجود در این حوزه را کاهش می‌دهد.

هر چند در طول این مدت روش‌های متعددی برای حل مسأله تخصیص کانتینرهای دریایی ارائه گردیده است اما اغلب آنها کارایی لازم را نداشته و قابل استفاده در دنیای واقعی نمی‌باشد و فقط از لحاظ تئوری و ریاضی قابل توجیه می‌باشند. در مدل‌های قبلی هر یک از مسائل تخصیص کشتی‌ها و تخصیص کانتینرها به صورت جداگانه حل شده است ولی در این مدل کل سیستم را به صورت یکپارچه دیده است و خروجی مدل اول به عنوان پارامترهای مدل دوم در نظر گرفته شده است و برای اولین بار سرزمین اصلی در مدل آمده است. یکی از دستاوردهای این تحقیق حل کردن مسأله تخصیص کانتینرهای دریایی با توجه به تخصیص کشتی‌ها و اعمال محدودیت‌های واقعی در مسأله می‌باشد که موجب می‌شود در عمل قابل اجرا باشد در نظر گرفتن این مفروضات باعث بالا رفتن راندمان و کاهش هزینه در بنادر می‌شود.

٦. مراجع

-Ak, A. and Erera, A. (2006) "Simultaneous berth and quay crane scheduling for container ports"., Working paper, H. Milton Stewart School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta

-Barkhof, F (2007) "Magnetic resonance imaging effects of interferon beta-1b in the BENEFIT study: integrated 2-year results", Archives of Neurology, Vol. 64, No. 9, pp. 1292-1298

-Borumand, A. and Beheshtinia, M. (2018) "A developed genetic algorithm for solving the multi-objective supply chain scheduling problem", Kybernetes, Vol. 47, No. 7, pp. 1401-1419.

-Beheshtinia, M., Ghasemi, A. and Farokhnia, M. (2018) "Supply chain scheduling and routing in multi-site manufacturing system (Case study: a drug manufacturing company)", Journal of Modelling in Management, Vol. 13, No. 1, pp. 27-49.

-Cao, C., Gao, Z. and Li, K. (2012) "Capacity allocation problem with random demands for the rail container carrier", European Journal of Operational Research., Vol. 217, No. 1, pp. 214-221

-Cia, B., Huang, S., Liu, D., Dissanavake, G. (2014) "Rescheduling policies for large-scale task allocation of autonomous straddle carriers under uncertainty at automated container terminals", Robotics, and Autonomous Systems., Vol. 62, No. 4, pp. 506-514

-Dai J., Lin, W., Moorthy R. and Teo, C. P. (2008) "Berth allocation planning optimization in container terminals", Supply Chain Analysis., Springer Vol. 119, No. 1, pp. 69-104

-Daganzo, C. F. (1989) "The crane scheduling problem", Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 23, No. 3, pp. 159-175

-Do, N. A. D., Nielsen, I. E., Chen, G. and Nielsen, P. (2016) "A simulation-based genetic algorithm approach for reducing emissions from import container pick-up operation at container terminal", Annals of Operations Research Nielsen., Vol. 242, No. 2, pp. 285-301

-Frojan, P., Correcher, J. F., Alvarez-Valdes, R., Koulouris, G. and Manuel, J. (2015) "The continuous berth allocation problem in a container terminal with multiple quays", Expert Systems with Applications, Vol. 42, No. 21, pp. 7356-7366

-Giallombardo, G., (2008) "The Tactical Berth Allocation Problem (TBAP) with quay crane assignment and transshipment-related quadratic yard costs", European Transport Conference (ETC), Noordwijkerhout, Netherlands, 6-8 October 2008.

-Guan, Y (2002) "A multiprocessor task scheduling model for berth allocation: heuristic and worst-case analysis", Operations Research Letters., Vol. 30, No. 5, pp. 343-350

-Güven, C., and Türsel, D. (2014) 'Trip allocation and stacking policies at a container terminal", Transportation Research Procedia., Vol. 3, No. 1, pp. 565-573

-Han, X. L., Gong, X. and Jo, J. (2015) "A new continuous berth allocation and quay crane assignment model in container terminal", Computers and Industrial Engineering., Vol. 89, No. 1, pp. 15-22

-Harris, G (2007) "Container terminal simulation", Proc. of Huntsville Simulation Conference, Huntsville, Alabama, USA, 30 October - 01 November 2007.

-He, J. (2016) "Berth allocation and quay crane assignment in a container terminal for the trade-off between time-saving and energy-saving", Journal of Advanced Engineering Informatics., Vol. 30, No. 3, pp. 390-405.

-Hirashima, Y. (2008) "A Q-learning system for container transfer scheduling based on shipping order at container terminals", International Journal of Innovative Computing, Information and Control., Vol. 4 , No. 3, pp. 547-558

-Hsu, W. K. K. (2009) "Improvement of Service Quality for Container Terminals", International Journal of Production Economics., Vol. 122, No. 1, pp. 56-66

-Imai, A., Nishimura, E. and Papadimitriou, S. (2005) "Berth allocation in a container port: Using a continuous location space approach", Transportation Research Part B: Methodological,. Vol. 39, No. 4 pp. 199-221

-Imai, A. (2008) "The simultaneous berth and quay crane allocation problem", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,. Vol. 44, No. 5, pp. 900-920

- De Weille, J. and A. Ray (1974) "The optimum port capacity", Journal of Transport Economics and Policy,. Vol. 17, No. 1, pp. 244-259

-Jiang, X. J., and Gang, J. (2017) "A branch-and-price method for integrated yard crane deployment and container allocation in transshipment yards", Transportation Research Part B: Methodological., Vol. 98, No. 1, pp. 62-75

-Le, Y. and Ieda, H. (2009) "Evolution dynamics of container port systems with a geo-economic concentration index: A comparison of Japan, China and Korea", Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Surabaya, Indonesia, 16-19 November 2009, Vol. 7, No. 1, pp. 428-438

-Lee, D.-H., Gang, J. and Hang, J. (2012) "Terminal and yard allocation problem for a container transshipment hub with multiple terminals", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review., Vol. 48, No. 2, pp. 516-528

-Lim, A. (1998) "The berth planning problem", Operations Research Letters,. Vol. 22, No. 2, pp. 105-110

-Liu, J., Wan, Y. W. and Wang. L. (2006) "Quay crane scheduling at container terminals to minimize the maximum relative tardiness of vessel departures", Naval Research Logistics (NRL),. Vol. 53, No. 1, pp. 60-74

-Meier, L. and Schumann, R. (2007) "Coordination of Interdependent Planning Systems, a Case Study", Informatik trifft Logistik., Vol.1,No.1 pp. 389-396

-Mehri, S. and Haghshenas, H. (2018) "Containerized transport mode choice between rail and road in Iran", Journal of Transportation Engineering., Vol. 9, No. 4, pp. 631-646

-Myung, Y.-S., and Moon, I. (2014) "A network flow model for the optimal allocation of both foldable and standard containers", Operations Research Letters., Vol. 42, No. 7, pp. 484-488

-Onut, S. and Saglam, C. O. (2008) "Modeling and optimization of general cargo port operations through fuzzy minimal spanning tree and fuzzy dynamic programming approaches", International Journal of Innovative Computing, Information and Control. Vol. 4, No. 8, pp. 1835-1851

-Park, K. and Kim, K. H. (2002) "Berth scheduling for container terminals by using a sub-gradient optimization technique", Journal of the Operational Research Society, Vol. 53, No. 9, pp. 1054-1062

-Peterkofsky, R.I. and Daganzo, C. F. (1990) "A branch and bound solution method for the crane scheduling problem", Transportation Research Part B: Methodological., Vol. 24, No. 3, pp. 159-172

-Sheng, L., Hongxia, Z., Xisong, D. and Changjian, C. (2016) "A heuristic algorithm for

-Li, J.-A., Leung, S. C. H., Wu, Y. and Liu, K. (2007) "Allocation of empty containers between multi-ports" European Journal of Operational Research., Vol. 182, No. 1, pp. 400-12.

-Liu, D. and Yang, H. (2015) "Joint slot allocation and dynamic pricing of container sea–rail multimodal transportation", Journal of Traffic, and Transportation Engineering., Vol. 2, No. 3, pp. 198-208

-Liang, C., Huang, Y. and Yang, Y. (2009) "A quay crane dynamic scheduling problem by hybrid evolutionary algorithm for berth allocation planning", Computers & Industrial Engineering,. Vol. 56, No. 3, pp. 1021-1028

-Lokuge, P. and Alahakoon, D. (2007) "Improving the adaptability in automated vessel scheduling in container ports using intelligent software agents ", European Journal of Operational Research., Vol. 177, No. 3, pp. 1985-2015

-Kasypi, M. and Muhammad, Z. (2006) "A regression model for vessel turnaround time", Tokyo Academic, Industry & Cultural Integration Tour., pp. 1-15

-Kent del Pilar Londoño, M. and Kent, P. E. (2003) "A Tale of Two Ports", Office of the Chief Economist for Latin America and the Caribbean The World Bank

-Kim, K. H. and Moon, K. C. (2003) "Berth scheduling by simulated annealing", Transportation Research Part B: Methodological,. Vol. 37, No. 6, pp. 541-560

-Lee, D. H., Song, L. and Wang, H. (2006) "Bilevel programming model and solutions of berth allocation and quay crane scheduling", Transportation Research Board 85th Annual Meeting, Washington, D.C., USA, 22-26 January 2006.

approaches for integrated vehicle dispatching and container allocation in a transshipment hub", Expert Systems with Applications., Vol.74, No.1, pp 139-150

-Wong, A. K.-S. (2008) "Optimization of container process at multimodal container terminals". PhD thesis, Queensland University of Technology, Queensland, Australia

-Xie, Y., Liang, X., Ma, L. and Houmin, J. (2018) "Empty container management and coordination in intermodal transport", European Journal of Operational Research., Vol.257, No.1, pp. 223-232

-Yu, M. and Qi, X. (2013) "Storage space allocation models for inbound containers in an automatic container terminal", European Journal of Operational Research., Vol. 226, No. 1, pp. 32-45

-Zehendner, E., Feillet, D. and Jaillet, J. (2018) "An algorithm with performance guarantee for the online container relocation problem", European Journal of Operational Research., Vol.259, No.1, pp 48-62

-Zeng, Q. and Yang, Z. (2009) "Integrating simulation and optimization to schedule loading operations in container terminals", Computers & Operations Research., Vol. 36, No. 6, pp. 1935-1944

-Zhang, C., Wu, T., Kim, K. H. and Miao, L. (2014) "Conservative allocation models for outbound containers in container terminals", European Journal of Operational Research., Vol. 238, No. 1, pp. 155-65

container loading of pallets with infill boxes", European Journal of Operational Research,. Vol. 252, No. 3, pp. 728-736.

-Song, L., Cherrett, T. and Guan, T. (2012) "Study on berth planning problem in a container seaport: Using an integrated programming approach", Computers & Industrial Engineering,. Vol.62, No.1, pp. 119-128

-Toffolo, T. A. M., Esprit, E., Wauters, T. and Vanden, G. (2018) "A two-dimensional heuristic decomposition approach to a three-dimensional multiple container loading problem", European Journal of Operational Research., Vol. 257, No. 2, pp. 526-38

-Tongzon, J. L. and Ganesalingam, S. (2014) "An evaluation of ASEAN port performance and efficiency", Asian Economic Journal,. Vol. 8, No. 3, pp. 317-330

-Türkoğulları, Y. B., Taşkın, Z. C., Aras, N. and Kuban, I (2017) "Optimal berth allocation, time-variant quay crane assignment and scheduling with crane setups in container terminals", European Journal of Operational Research., Vol.254, No.3, pp. 985-1001

-Wang, H., Wang, S., Meng, G. (2014) "Simultaneous optimization of schedule coordination and cargo allocation for liner container shipping networks", Transportation Research Part E: Logistics Meng, and Transportation Review., Vol. 70, No. 5, pp. 261-273

-Wang, Y., Jiang, X., Lee, L. H., Chew, E. K. P. and Choon, K. (2017) "Tree based searching

محمد ساویز اسدی لاری ، درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۸۵ از دانشگاه تربیت مدرس اخذ نمود. در سال ۱۳۹۸ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه تهران گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مکان یابی، حمل و نقل، لجستیک و طراحی شبکه زنجیره تامین بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه مربی در دانشگاه پیام نور است.

فریبرز جولای، فارغ التحصیل رشته مهندسی صنایع از دانشگاه امیرکبیر در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد به ترتیب در سال‌های ۱۳٦٦ و ۱۳٦۹ می‌باشد. وی در سال ۱۳۷۷ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه گرنوبل – فرانسه گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان لجستیک و مدیریت زنجیره تامین، برنامه ریزی ریاضی و تئوری صف است و در حال حاضر عضو هیأت علمی با مرتبه استاد تمام دانشکده مهندسی صنایع در دانشگاه تهران است.

رضا توکلی مقدم، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳٦۷ از دانشگاه علم و صنعت ایران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۷۲ از دانشگاه ملبورن - استرالیا اخذ نمود .ایشان در سال ۱۳۷٦ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه سوین برن – استرالیا گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان طراحی سیستمهای صنعتی (مکانیابی و استقرارتسهیلات)، مسیریابی وسایط حمل و نقل، لجستیک و طراحی شبکه زنجیره تامین، زمانبندی و توالی عملیات، الگوریتم‌های فرابتکاری در بهینه‌سازی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استاد تمام در دانشگاه تهران است.

جعفر رزمی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳٦۹ از دانشگاه دانشگاه صنعتی شریف و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مدیریت را در سال ۱۳۷٤ از دانشگاه اوتاوا – کانادا اخذ نمود. ایشان در سال ۱۳۷۸ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه برادفورد – انگلستان گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه برنامه ریزی و کنترل تولید و موجودی‌ها، برنامه ریزی حمل و نقل، مدیریت زنجیره تامین و مدیریت لجستیک بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استاد تمام در دانشگاه تهران است.