Decisions & Operations Research

Volume 6, Issue 1, Spring 2021

A Heuristic Algorithm to Solve a Layout Problem of Sea Containers

Mohammad Saviz Asadi-Lari[1], Fariborz Jolai[2], Reza Tavakkoli-Moghaddam[2,*], Jafar Razmi[2]

[1]Department of Industrial Engineering, Albourz Campus, University of Tehran, Tehran, Iran.
[2]Department of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

Abstract

By increasing the use of container transportation, one of the existing problems is the constant capacity of container terminals due to problems, such as lengthy construction process, lack of budget and space to build new locations, as well as lack of manpower. Also, this constant capacity leads to problems such as reduced trade relations, increased maintenance and warehousing costs, increased transportation costs, and increased loading and unloading times, as well as container allocation problems. To solve this problem without increasing the area of the terminal, this paper presents a mathematical model to allocate containers that can be used not only to solve this problem, but also in other cases such as transportation and shipping used. Due to the size of problems used in this research, a heuristic algorithm, namely LOGIC algorithm is used. According to studies, carried out in the literature, this algorithm has not been used in relevant problems so far. Also, due to the development of the LOGIC algorithm in this paper, it can be used for other large-scale optimization problems. The development of the proposed algorithm can be improved to solve the layout problem of maritime containers with other real constraints.

Keywords: Sea containers, Container layout, LOGIC algorithm, Heuristic algorithm.

Original Article

Received: 21/09/2020 Reviewed: 25/11/2020 Revised: 02/01/2021 Accepted: 08/02/2021

Citation:

Asadi-Lari, M. S., Jolai, F., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Razmi, J. (2021). A heuristic algorithm to solve a layout problem of sea containers. *Decisions & operations research*, *6*(1), 1-24.

*** Corresponding Author**

Email Address: tavakoli@ut.ac.ir

DOI: 10.22105/DMOR.2021.271733.1318

www.journal-dmor.ir

نشریه علمی
تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات
Decisions and Operational Research
دوره ۶، شماره (۱)، بهار ۱۴۰۰

الگوریتم ابتکاری برای حل مسئله چیدمان کانتینرهای دریایی

محمد ساویز اسدی لاری[۱]، فریبرز جولای[۲]، رضا توکلی مقدم[۲*]، جعفر رزمی[۲]
[۱] گروه مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع، پردیس البرز، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
[۲] گروه مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

چکیده

با افزایش استفاده از حمل‌ونقل کانتینری یکی از مشکلات موجود، ثابت بودن ظرفیت پایانه‌های کانتینری به دلیل مشکلاتی همچون طولانی بودن فرایند ساخت‌وساز، کمبود بودجه و فضا جهت ساخت مکان‌های جدید و همچنین کمبود نیروی انسانی است. به‌علاوه این ثابت بودن ظرفیت، مشکلاتی از قبیل کاهش روابط تجاری، افزایش هزینه‌های نگهداری و انبار، افزایش هزینه‌های جابجایی و افزایش زمان بارگیری و تخلیه و همچنین مشکلات تخصیص کانتینرها را به دنبال دارد. برای رفع این مشکل بدون بالا بردن متراژ پایانه، در این مقاله از یک روش مدل‌سازی ریاضی جهت تخصیص کانتینرها استفاده می‌شود که نه‌تنها برای حل این مشکل مورداستفاده است، بلکه در موارد دیگری نیز مانند حمل‌ونقل دریایی می‌تواند مورداستفاده قرار می‌گیرد. با توجه به حجم مسئله مورداستفاده در این تحقیق از الگوریتم‌های ابتکاری، الگوریتم لوجیک استفاده گردیده که با توجه به بررسی‌های صورت گرفته مشخص‌شده است که این روش تا اکنون در مسائل مربوطه، مورداستفاده قرار نگرفته است. در ضمن با توجه به توسعه الگوریتم لوجیک در این مقاله، این روش را برای دیگر مسائل بهینه‌سازی در مقیاس بزرگ نیز می‌توان به کار برد. بسط و توسعه الگوریتمی به‌منظور بهبود الگوریتم‌های پیشنهادی که تمامی فرضیه‌های ساده‌ساز را آزاد نماید به‌عنوان یک نوآوری در حل مسئله طراحی چیدمان کانتیرهای دریایی مطرح می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: کانتیرهای دریایی، الگوریتم لوجیک، چیدمان کانتیر، الگوریتم ابتکاری.

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۳۱ داوری: ۱۳۹۹/۰۹/۰۵ اصلاح: ۱۳۹۹/۱۰/۱۳ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰

۱- مقدمه

پایانه‌های کانتینری با توجه به افزایش ترافیك بار در آینده و لزوم آمادگی بنادر برای این مهم، باید به بهره‌وری بیشتری دست یابند. افزایش بهره‌وری می‌تواند با افزایش وسایل نقلیه و اتوماسیون پایانه‌ها، ممکن شود. ولی باید توجه کرد که افزایش وسایل نقلیه ازنظر تکنیکی غیرممکن است زیرا تداخل تجهیزات ممکن است خود باعث کاهش بهره‌وری کلی شود. همچنین، همان‌طور که پهنای کشتی‌ها و ارتفاع آن‌ها افزایش می‌یابد، بهبود کارایی و بهره‌وری پایانه فقط با افزایش تعداد وسایل، محدود و محدودتر می‌شود (ترکلره و همکاران[۱]، ۲۰۱۶) در نتیجه، تجهیزات جابه‌جایی کانتینر، که در قرن ۲۱ به‌کاربرده می‌شود باید به بهره‌وری بیشتری دست یابند و اتوماسیون راهکار مطلوبی برای رسیدن به این هدف است. یک ترمینال کانتینری مجموعه‌ای عظیم از بیش از صد عدد وسیله حمل کانتینر و ده‌ها عدد جرثقیل و دهها بلوک ذخیره‌سازی کانتینر به همراه چندین جرثقیل اسکله می‌باشد. مسلماً مدیریت این مجموعه عظیم و استفاده از حداکثر ظرفیت ترمینال کاری بس پیچیده می‌باشد. کنترل چنین سیستمی نیاز به روش‌های جدید دارد (زی و همکاران[۲]، ۲۰۱۷). معمولاً دو روش عمده در ترمینال‌های

[۱] Türkoğulları et al.
[۲] Xie et al.

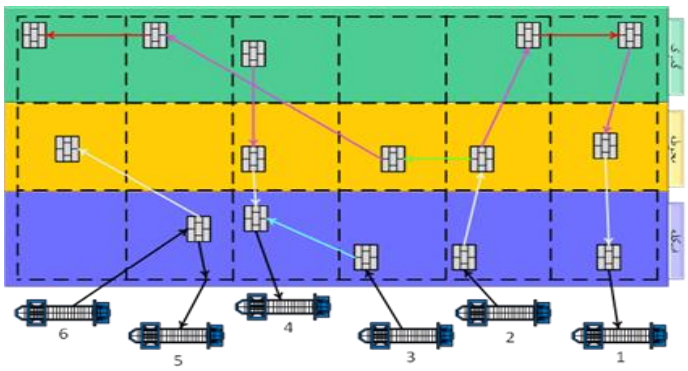
* نویسنده مسئول
آدرس رایانامه: tavakoli@ut.ac.ir
شناسه دیجیتال: 10.22105/DMOR.2021.271733.1318

کانتینری به کار می‌رود: ۱- تقسیم مسائل به مسئله‌های کوچک‌تر و حل کردن مجزا ۲- شبیه‌سازی و مدل‌سازی ۳- مدل‌سازی ریاضی و حل با استفاده از مدل‌های ریاضی (شنگ و همکاران[۱]، ۲۰۱۶). در مقاله حاضر از مدل‌سازی ریاضی و حل با استفاده الگوریتم توسعه‌یافته لوجیک استفاده شده است. در دو دهه گذشته، ترمینال‌های کانتینری در سراسر جهان به دلیل افزایش حجم تبادلات دریایی با مشکلات زیادی روبرو بوده‌اند. مسئله تحقیق موردبررسی، عبارت است از تعیین الگوریتمی برای حل مسئله چیدمان کانتینرهای دریایی با توجه به هزینه‌های انتقال، هزینه‌های نگهداری کانتینر، هزینه‌های وسایل نقلیه مورداستفاده، هزینه فضای نگهداری کانتینرها، هزینه استفاده از جرثقیل‌های مختلف است. در هزینه‌های استفاده از جرثقیل‌ها، ظرفیت و زمان بیکاری نیز در نظر گرفته‌شده است، یعنی تعیین تعداد کانتینرها و چیدمان کانتینرها (با توجه به فضایی که در کشتی، محوطه، گمرک اشغال می‌کند و تأثیری تعداد جرثقیل‌های مختلف و وسایل نقلیه برچیدمان مسئله می‌گذارد) مبتی بر آن در حل مسئله است (وانگ و همکاران[۲]، ۲۰۱۷). سؤال اصلی تحقیق به این نحو قابل‌بیان است که چگونه می‌توانیم چیدمان کانتینرها در کشتی، محوطه، گمرک را با به‌کارگیری جرثقیل و وسایل نقلیه به‌عنوان وسیله‌ای برای حمل‌ونقل (با توجه به تمام محدودیت‌هایی که در مسئله ایجاد می‌کند) به نحوی تعیین کنیم که در عمل، قابلیت استفاده از آن وجود داشته باشد. بیشترین تلاشی که در حل این مسئله شده این است که مسئله به‌صورت واقعی و به‌گونه‌ای که در عمل قابل‌استفاده باشد حل شود و استفاده از فرض‌های ساده ساز در مسئله حداقل و یا حذف‌شده است. مدل‌سازی و نتایج حاصل از آن در ادامه مقاله به‌تفصیل ارائه‌شده است. در **جدول ۱** مطالعات انجام‌شده در سال‌های اخیر که به چیدمان کانتینرهای دریایی پرداخته در قسمت‌های مختلف موردبررسی قرارگرفته است (زیهندنر و همکاران[۳]، ۲۰۱۷).

۲- تعریف مسئله و مدل‌سازی ریاضی

جرثقیل‌ها مطلوب‌ترین وسیله برای بارگیری و تخلیه کانتینر در بندرها هستند. این تجهیزات حجیم بوده و معمولاً دارای حرکت کندی هستند که باعث ایجاد گلوگاه در ترمینال می‌شوند؛ بنابراین بدون یک برنامه‌ریزی مؤثر برای جرثقیل‌های اسکله به دلیل منتظر ماندن برای رسیدن کامیون‌ها بیکار می‌مانند. این‌چنین زمانه‌ای انتظاری میزان کارائی جرثقیل‌های اسکله را کاهش می‌دهد؛ بنابراین، برای دستیابی به بهره‌وری بالا استفاده از جرثقیل‌های محوطه باید با برنامه‌ریزی صورت پذیرد. یک بندر کانتینری از اجزاء زیر تشکیل‌شده است:

- *اسکله همراه با چند جرثقیل اسکله که وظیفه بار زدن و پیاده کردن کانتینر از کشتی را به عهده دارند.*
- *گمرک که وظیفه تحویل گرفتن و تحویل دادن کانتینر به مشتری را به عهده دارد.*
- *محوطه که وظیفه نگهداری موقت کانتینرهای صادراتی و وارداتی را به عهده دارد.*
- *سیستم حمل‌ونقل که حمل‌ونقل کانتینر را بین بخش‌های قبلی انجام می‌دهد.*



شکل ۱- رابطه بین کانتینرها، اسکله، محوطه و گمرک.

Figure 1- Relationship between containers, wharf, yard and customs.

همچنین زمان‌بندی صحیح و منطقی جرثقیل محوطه در بهبود راندمان فعالیت‌های بارگیری و تخلیه و کاهش هزینه‌های عملیاتی نقش مهمی دارد. اغلب هر جرثقیل گانتری با یک تعداد ثابت ماشین‌آلات حمل‌ونقل سرویس ارائه می‌کند، یعنی حمل‌کننده‌ها یا کشنده‌ها

[۱] Sheng et al.
[۲] Wang et al.
[۳] Zehendner et al.

می‌توانند کانتینرها را در ترمینال حمل کنند و آن‌ها را تا یک ارتفاع معین که مربوط به نوع ماشین‌آلات مورداستفاده و سیاست‌های دیکته شده به‌وسیله مسئول محوطه است، دپو کنند (اسدی لاری و همکاران ، ۲۰۱۹).

جدول ۱- مقایسه مطالعات انجام شده.

Table 1- Comparison of reviewed studies.

نویسنده	سال انتشار	تعداد جرثقیل ها			هزینه نگهداری			تعداد ماشین‌آلات			تعداد تخصیص شده			فضای داده			هزینه جابجایی عمودی			هزینه جابجایی افقی			روش حل
		گمرک	محوطه	اسکله	گمرک	محوطه	اسکله	گمرک	محوطه	اسکله	گمرک	محوطه	اسکله	گمرک	محوطه	اسکله	گمرک	محوطه	اسکله	گمرک	محوطه	اسکله	
فروجان و همکاران[۱]	2015			*			*																فازی
هان و همکاران[۲]	2015			-						*			*										رگرسیون
لیو و یانگ[۳]	2015			*																			ژنتیک
دو و همکاران[۴]	2016			*			*					*											شبیه‌سازی
هی[۵]	2016		*	-					*														فازی
شنگ و همکاران	2016		*	*								*											ژنتیک
جیانگ و جین[۶]	2017		-	-						*			*			*							شبیه‌سازی
ونگ و همکاران	2017		-	*																			شاخه و کران
توفولو و همکاران[۷]	2018		-	-					*							*							شبیه‌سازی
زی و همکاران	2018		-	-					*			*											شبیه‌سازی
زیهندنر و همکاران	2018		-	-								*											فازی
ونگ و همکاران[۸]	2019									*													شاخه و کران
ویردوجیرج و و همکاران[۹]	2020															*							فازی
ابو آشیا و همکاران[۱۰]	2021						*																فازی

[۱] Frojan et al.
[۲] Han et al.
[۳] Liu and Yang
[۴] Do et al.
[۵] He
[۶] Jiang and Jin
[۷] Toffolo et al.
[۸] Wang et al.
[۹] Wirjodirdjo et al.
[۱۰] Abu Aisha et al.

۱-۲- تعریف متغیرهای تصمیم و پارامترها

پارامترها و متغیرهای تصمیم و علائم بکار رفته در مدل ارائه‌شده به‌اختصار در **جداول ۲** و **۳** توضیح داده شده است.

پارامترها.

H	اندیس جرثقیل محوطه	K_n	تعداد جرثقیل گمرک	dH_{ij}	فاصله‌ی بین کانتینر i و j تخصیص داده‌شده به جرثقیل محوطه
K	اندیس جرثقیل گمرک	CL_{ij}^{H}	هزینه جابجایی افقی کانتینر کشتی j و i از نوع	$d_{irF_i}^{H}$	تا i فاصله‌ی افقی مرکز کانتینر راهروی این کانتینر در محوطه
a	اندیس شماره‌ی وسایل نقلیه	CL_{ij}^{V}	هزینه جابجایی عمودی کانتینر j و i کشتی از نوع	$dH_{rF_iH}^{H}$	فاصله‌ی افقی از راستای عمودی درراهروی‌این‌کانتینر i مرکز کانتینر در محوطه تا جرثقیل محوطه
b	فضا اندیس شماره‌ی	CF_{ij}^{H}	هزینه جابجایی افقی کانتینر j و i محوطه از نوع	$dH_{HrF_j}^{H}$	فاصله‌ی افقی جرثقیل محوطه(در طبقه بعدی) تا راستای عمودی مرکز (در طبقه بعدی)در j کانتینر این‌کانتینر در محوطه راهروی
Z	اندیس شماره‌ی جرثقیل	CF_{ij}^{V}	هزینه جابجایی عمودی کانتینر j و i محوطه از نوع	$d_{rF_jj}^{H}$	در j فاصله‌ی افقی راهروی کانتینر محوطه تا مرکز این کانتینر
rL	اندیس راهرو کشتی	CG_{ij}^{H}	هزینه جابجایی افقی کانتینر گمرك j و i از نوع	dK_{ij}	j و i فاصله‌ی بین کانتینر تخصیص داده‌شده به جرثقیل گمرک
rF	اندیس راهرو محوطه	CG_{ij}^{V}	هزینه جابجایی عمودی کانتینر j و i گمرك از نوع	$d_{irG_i}^{H}$	تا i فاصله‌ی افقی مرکز کانتینر راهروی این کانتینر در گمرک
rG	اندیس راهرو گمرک	hL_i	i هزینه نگهداری کانتینر از نوع در کشتی	$dK_{rG_iK}^{H}$	فاصله‌ی افقی از راستای عمودی در i مرکز کانتینر راهروی این‌کانتینر در گمرک تا جرثقیل گمرک
V_{iS}	اسکله برای (S) ظرفیت جرثقیل در iتخلیه و بارگیری کانتینر نوع واحد زمان	hF_i	i هزینه نگهداری کانتینر از نوع در محوطه	$dK_{KrG_j}^{H}$	فاصله‌ی افقی جرثقیل گمرک (در طبقه بعدی) تا راستای عمودی مرکز (در طبقه بعدی) در j کانتینر این‌کانتینر در گمرک راهروی
V_{iH}	ظرفیت جرثقیل (H) محوطه برای تخلیه و بارگیری کانتینر نوع i در واحد زمان	hG_i	هزینه نگهداری کانتینر از نوع i در گمرک	$d_{rG_jj}^{H}$	فاصله‌ی افقی راهروی کانتینرj در گمرک تا مرکز این کانتینر
V_{iK}	ظرفیت جرثقیل (K) گمرک برای تخلیه و بارگیری کانتینر نوع i در واحد زمان	σ_{L_i}	ضریب حق تعرفه‌ی کانتینر نوع i کشتی	d_{iS}	فاصله از کانتینر نوع i به جرثقیل اسکله
vMS_a	ظرفیت وسایل‌نقلیه شماره a کشتی	σ_{F_i}	ضریب حق تعرفه کانتینر نوع i محوطه	d_{iH}	فاصله از کانتینر نوع i به جرثقیل محوطه
vMF_a	ظرفیت وسایل‌نقلیه شماره a محوطه	σ_{G_i}	ضریب حق تعرفه کانتینر نوع i گمرک	d_{iK}	فاصله از کانتینر نوع i به جرثقیل گمرک
vMG_a	ظرفیت وسایل‌نقلیه شماره a گمرک	CMS_a	هزینه وسایل نقلیه‌ی شماره a اسکله	d_{Sj}	فاصله از جرثقیل اسکله به کانتینر نوع j
P_{iS}	مدت زمان کارکردجرثقیل اسکله برای انتقال کانتینر نوع i	CMF_a	هزینه وسایل نقلیه‌ی شماره a محوطه	d_{Hj}	فاصله از جرثقیل محوطه به کانتینر نوعj
P_{iH}	مدت زمان کارکرد جرثقیل محوطه برای انتقال کانتینر نوع i	CMG_a	هزینه وسایل نقلیه‌ی شماره a گمرک	d_{Kj}	فاصله از جرثقیل گمرک به کانتینر نوع j
P_{iK}	مدت زمان کارکرد جرثقیل گمرک برای انتقال کانتینر نوع i	CES_b	هزینه فضای شماره b اسکله	m	شماره طبقه کانتینرها

P'_{iS}	مدت زمان بیکاری جرثقیل اسکله طی انتقال کانتینر نوع i	CEF_b	هزینه فضای شماره b محوطه	q	تعداد طبقات کانتینرها		
P'_{iH}	مدت زمان بیکاری جرثقیل محوطه طی انتقال کانتینر نوع i	CEG_b	هزینه فضای شماره b گمرک	δ	ارتفاع کانتینر		
P'_{iK}	مدت زمان بیکاری جرثقیل گمرک طی انتقال کانتینر نوع i	S_z	جرثقیل شماره z اسکله	ζ_i	مساحت کانتینر		
L_i	تعداد کانتینر i نوع برنامه‌ریزی شده‌ی کشتی	H_z	جرثقیل شماره z محوطه	ζ_S	مساحت اسکله		

جدول ۲- معرفی پارامترهای مدل.

Table 2- Parameters.

j , i	اندیس نوع کانتینر	ES	فضای اشغال‌شده توسط کانتینرهای اسکله	dS_{ij}	فاصله‌ی بین کانتینر i و j تخصیص داده‌شده به جرثقیل اسکله		
L	اندیس کشتی	EF	فضای اشغال‌شده توسط کانتینرهای محوطه	$d^H_{irL_i}$	فاصله‌ی افقی مرکز کانتینر i تا راهروی این کانتینر در کشتی		
F	اندیس محوطه	EG	فضای اشغال‌شده توسط کانتینرهای گمرک	$dS^H_{rL_iS}$	فاصله‌ی افقی از راستای عمودی مرکز کانتینر i در راهروی این کانتینر در کشتی تا جرثقیل اسکله		
G	اندیس گمرک	S_n	تعداد جرثقیل اسکله	$dS^H_{SrL_j}$	فاصله‌ی افقی جرثقیل اسکله (در طبقه بعدی) تا راستای عمودی مرکز کانتینر j (در طبقه بعدی) درراه روی این کانتینر در کشتی		
S	اندیس جرثقیل اسکله	H_n	تعداد جرثقیل محوطه	$d^H_{rL_jj}$	فاصله‌ی افقی راهروی کانتین j در کشتی تا مرکز این کانتینر		
G_i	نوع برنامه‌ریزی i تعداد کانتینر شده‌ی گمرک	tS_z	اسکله z زمان انتظار جرثقیل شماره	ζ_G	مساحت گمرک		
F_i	نوع برنامه‌ریزی i تعداد کانتینر شده‌ی محوطه	K_z	گمرک z جرثقیل شماره	ζ_F	مساحت محوطه		
β_{L_i}	کشتی i ضریب آلایندگی کانتینر نوع	tH_z	محوطهz زمان انتظار جرثقیل شماره	ζ_{rL}	مساحت راهرو اسکله		
β_{F_i}	محوطهi ضریب آلایندگی کانتینر نوع	tK_z	گمرکz زمان انتظار جرثقیل شماره	ζ_{rF}	مساحت راهرو محوطه		
β_{G_i}	گمرکi ضریب آلایندگی کانتینر نوع	yL_i	در کشتیi شماره طبقه کانتینر	ζ_{rG}	مساحت راهرو گمرک		
fSL_{ij}	بین j و i مقدار جریان کانتینر کشتی و جرثقیل اسکله	yF_i	در محوطهi شماره طبقه کانتینر	ζ_{L_i}	کشتی i مساحت کانتینر نوع		
fHF_{ij}	بین j و i مقدار جریان کانتینر محوطه و جرثقیل محوطه.	yG_i	در گمرک i شماره طبقه کانتینر	ζ_{F_i}	محوطه i مساحت کانتینر نوع		
fKG_{ij}	بین گمرک j و iمقدار جریان کانتینر و جرثقیل گمرک.	yL_j	در کشتی j شماره طبقه کانتینر	ζ_{G_i}	گمرکi مساحت کانتینر نوع		
α	ضریب وزن‌دهی به مسافت مجازی.	yF_j	در محوطه.j شماره طبقه کانتینر	ζ_{iS}	تخصیص‌داده شده به i مساحت کانتینر نوع جرثقیل اسکله.		
DS_{ij}	علت انتظار در به مسافت مجازی که و انصف برای جابجایی بین دپارتمان ایجاد می‌شود.j	yG_j	در گمرک. j شماره طبقه کانتینر	ζ_{iF}	تخصیص‌داده شده به i مساحت کانتینر نوع جرثقیل محوطه		
DH_{ij}	علت انتظار در به مسافت مجازی که و انصف برای جابجایی بین دپارتمان ایجاد می‌شود.j	$yL_{j'}S_z$	اسکله در z مکان جرثقیل شماره مرحله قبل که از آن استفاده شده‌است.	ζ_{iG}	تخصیص‌داده شده به i مساحت کانتینر نوع جرثقیل گمرک		
DK_{ij}	علت انتظار در مسافت مجازی که به و انصف برای جابجایی بین دپارتمان ایجاد می‌شود.j	$yF_{j'}H_z$	محوطه در z مکان جرثقیل شماره مرحله قبل که از آن استفاده شده‌است.	V	سرعت حرکت جرثقیل		
$	هزینه تعرفه	$yG_{j'}K_z$	گمرک در z مکان جرثقیل شماره مرحله قبل که از آن استفاده شده‌است.	M	عدد بسیار بزرگ		

متغیرهای تصمیم.

جدول ۳- معرفی متغیرهای تصمیم مدل.

Table 3- Decision variables.

S_n	تعداد جرثقیل اسکله	MS_a	تعداد وسایل نقلیه‌ی تخصیص داده شده شماره a به اسکله	dS_{ij}^H	فاصله‌ی افقی بین کانتینر i و j تخصیص داده‌شده به جرثقیل اسکله
H_n	تعداد جرثقیل محوطه	MF_a	تعداد وسایل نقلیه‌ی تخصیص داده شده شماره a به محوطه	dS_{ij}^V	فاصله‌ی عمودی بین کانتینر i و j تخصیص داده‌شده به جرثقیل اسکله
K_n	تعداد جرثقیل گمرک	MG_a	تعداد وسایل نقلیه‌ی تخصیص داده شده شماره a به گمرک	dH_{ij}^H	فاصله‌ی افقی بین کانتینر i و j تخصیص داده‌شده به جرثقیل محوطه
NL_i	تعداد کانتینرهای تخصیص داده‌شده از نوع i به کشتی	ES_b	تعداد فضای تخصیص داده‌شده شماره b به اسکله	dH_{ij}^V	فاصله‌ی عمودی بین کانتینر i و j تخصیص داده‌شده به جرثقیل محوطه
NF_i	تعداد کانتینرهای تخصیص داده‌شده از نوع i به محوطه	EF_b	تعداد فضای تخصیص داده‌شده شماره b به محوطه	dK_{ij}^H	فاصله‌ی افقی بین کانتینر i و j تخصیص داده‌شده به جرثقیل گمرک
NG_i	تعداد کانتینرهای تخصیص داده‌شده از نوع i به گمرک	EG_b	تعداد فضای تخصیص داده‌شده شماره b به گمرک	dK_{ij}^V	فاصله‌ی عمودی بین کانتینر i و j تخصیص داده‌شده به جرثقیل گمرک

۲-۲- تعیین تابع هدف مدل

تابع هدف مسئله دارای یک قسمت اصلی و یک قسمت فرعی می‌باشد، در تابع هدف اصلی فاصله عمودی و افقی برای اسکله، محوطه و گمرک متغیر تصمیم بوده و سپس در هزینه‌های افقی و عمودی مقدار و جریان بین در کانتینر ضرب می‌گردد. در آزمون بعدی هزینه نگهداری کانتینر در تعداد کانتینرهای تخصیص داده‌شده به اسکله محوطه و گمرک ضرب می‌گردد.

در قسمت بعدی هزینه نگهداری هر کانتینر در تعداد کانتینرهای تخصیص داده‌شده به اسکله، محوطه و گمرک ضرب می‌گردد و حاصل، با هزینه استفاده‌شده وسایل در تعداد وسایل نقلیه اسکله، محوطه و گمرک محاسبه می‌گردد. با توجه به اینکه در واقعیت و در بنادر در خیلی از موارد احتیاج به استفاده از فضای اضافی برای چیدمان کانتینرها می‌باشد، این قسمت نیز به مدل اصلی اضافه گردیده است و درنهایت تعداد جرثقیل‌های اسکله، محوطه و گمرک محاسبه می‌گردد.

$$MinX=(CL_{ij}^H dS_{ij}^H+CL_{ij}^V dS_{ij}^V)fSL_{ij}+(CF_{ij}^H dH_{ij}^H+CF_{ij}^V dH_{ij}^V)fHF_{ij}+(CG_{ij}^H dK_{ij}^H+CG_{ij}^V dK_{ij}^V)fKG_{ij} +(NL_i\times hL_i)+(NF_i\times hF_i)+(NG_i\times hG_i)+(MS_a\times CMS_a)+(MF_a\times CMF_a)+(MG_a\times CMG_a) +(ES_b\times CES_b)+(EF_b\times CEF_b)+(EG_b\times CEG_b)+S_nS_c+H_nH_c+K_nK_c \quad (۱)$$

s.t.

$$S_n\le\sum_{i=1}^{n}\frac{V_{iS}}{P_{iS}-P'_{iS}}H_n\le\sum_{i=1}^{n}\frac{V_{iH}}{P_{iH}-P'_{iH}}\qquad K_n\le\sum_{i=1}^{n}\frac{V_{iK}}{P_{iK}-P'_{iK}}\ ; \quad (۲)$$

$$1\le S_n\le\frac{\zeta_S}{\zeta_{rL}}\qquad 1\le H_n\le\frac{\zeta_F}{\zeta_{rF}}\qquad 1\le G_n\le\frac{\zeta_G}{\zeta_{rG}}\ ; \quad (۳)$$

$$hL_i=\sum_{L_i}\sigma_{L_i}\$\zeta_{L_i}\beta_{L_i}\qquad hG_i=\sum_{G_i}\sigma_{G_i}\$\zeta_{G_i}\beta_{G_i}\qquad hG_i=\sum_{G_i}\sigma_{G_i}\$\zeta_{G_i}\beta_{G_i}\ ; \quad (۴)$$

$$ES=\sum_b ES_b\qquad EF=\sum_b EF_b\qquad EG=\sum_b EG_b\ ; \quad (۵)$$

$$ES_b\ge q\delta\sum_i NL_i\zeta_i\qquad EF_b\ge q\delta\sum_i NF_i\zeta_i\qquad EG_b\ge q\delta\sum_i NG_i\zeta_i\ ; \quad (۶)$$

$$1\le\sum\nu MS_a\times MS_a\le L_i\qquad 1\le\sum\nu MF_a\times MF_a\le F_i\qquad 1\le\sum\nu MG_a\times MG_a\le G_i\ ; \quad (۷)$$

$$V_{iS}\ge\frac{L_i}{\sum\nu MS_a\times MS_a}\qquad V_{iH}\ge\frac{F_i}{\sum\nu MF_a\times MF_a}\qquad V_{iK}\ge\frac{G_i}{\sum\nu MG_a\times MG_a}\ ; \quad (۸)$$

$$\sum_{m=1}^{m} x_{iSm}=1 \quad i=1,\ldots,N \qquad \sum_{m=1}^{m} x_{iFm}=1 \quad i=1,\ldots,N \qquad \sum_{m=1}^{m} x_{iGm}=1 \quad i=1,\ldots,N; \tag{۹}$$

$$\sum_{b=1}^{e} ES_b x_{iSm} \le \zeta_{iS} \qquad \sum_{b=1}^{e} EF_b x_{iFm} \le \zeta_{iF} \qquad \sum_{b=1}^{e} EG_b x_{iGm} \le \zeta_{iG}; \tag{۱۰}$$

$$x_{iSm}=\begin{cases}1 & \text{if container } iS \text{ is assigned to floor } m\\ 0 & \text{otherwise}\end{cases}; \tag{۱۱}$$

$$x_{iFm}=\begin{cases}1 & \text{if container } iF \text{ is assigned to floor } m\\ 0 & \text{otherwise}\end{cases}; \tag{۱۲}$$

$$x_{iGm}=\begin{cases}1 & \text{if container } iG \text{ is assigned to floor } m\\ 0 & \text{otherwise}\end{cases}; \tag{۱۳}$$

$$Z_{ij}=min\left(\sum_i\sum_j \left|yL_i\text{-}yL_j\right| \delta CL^V_{ij} fSL_{ij} + \sum_i\sum_j \left|yF_i\text{-}yF_j\right| \delta CF^V_{ij} fHF_{ij} + \sum_i\sum_j \left|yG_i\text{-}yG_j\right| \delta CG^V_{ij} fKG_{ij}\right); \tag{۱۴}$$

$$\sum_{m=1}^{m} x_{iSm}=1 \quad i=1,\ldots,N \qquad \sum_{m=1}^{m} x_{iFm}=1 \quad i=1,\ldots,N \qquad \sum_{m=1}^{m} x_{iGm}=1 \quad i=1,\ldots,N; \tag{۱۵}$$

$$\sum_{b=1}^{e} ES_b x_{iSm} \le \zeta_{iS} \;\; i=1,\ldots,N', \sum_{b=1}^{e} EF_b x_{iFm} \le \zeta_{iF} \;\; i=1,\ldots,N', \sum_{b=1}^{e} EG_b x_{iGm} \le \zeta_{iG} \;\; i=1,\ldots,N'; \tag{۱۶}$$

$$\sum_{m=1}^{m'} mx_{iSm}=yL_i \;\; i=1,\ldots,N \;, \sum_{m=1}^{m'} mx_{iFm}=yF_i \;\; i=1,\ldots,N \;, \sum_{m=1}^{m'} mx_{iGm}=yG_i \;\; i=1,\ldots,N; \tag{۱۷}$$

$$x_{iSm}=\begin{cases}1 & \text{if container } iS \text{ is assigned to floor } m\\ 0 & \text{otherwise}\end{cases}; \tag{۱۸}$$

$$x_{iFm}=\begin{cases}1 & \text{if container } iF \text{ is assigned to floor } m\\ 0 & \text{otherwise}\end{cases}; \tag{۱۹}$$

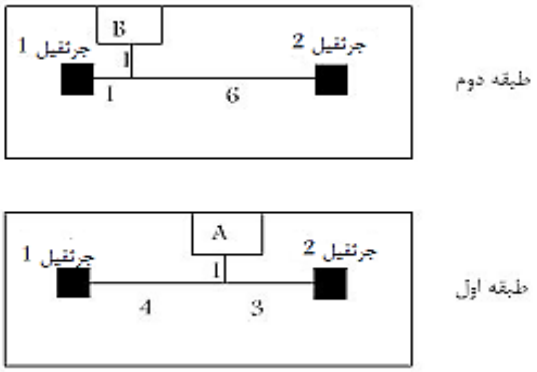
$$x_{iGm}=\begin{cases}1 & \text{if container } iG \text{ is assigned to floor } m\\ 0 & \text{otherwise}\end{cases}. \tag{۲۰}$$

مفروضات **مدل (۱)** تابع هدفی است، بر مبنای کمینه‌سازی هزینه‌های مختلف، مانند هزینه‌ی ناشی از فاصله افقی و عمودی کانتینرهایی که در چندین طبقه جانمایی شده‌اند، هزینه نگهداری، هزینه وسایل نقلیه که عملیات باربری کانتینرها توسط آن‌ها صورت می‌گیرد و همچنین تمامی هزینه‌های مربوط به فضا و تعداد جرثقیل‌ها که منجر به حداقل سازی هزینه کل می‌شود، در اسکله، محوطه و گمرک طی فرآیند تخلیه و بارگیری موردبحث است و از بیان جزئیات استریپ و استافینگ به دلیل گستردگی مدل صرف‌نظر شده است. **محدودیت (۲)** بیانگر این است که حداکثر به‌اندازه‌ی ظرفیت جرثقیل‌ها با در نظر گرفتن مدت‌زمان کارکرد و بیکاری، می‌توان چیدمان تعداد مطلوبی از آن‌ها را در اسکله، محوطه و گمرک انجام داد. **محدودیت (۳)** تأکید می‌کند که حداقل یک جرثقیل و حداکثر تعداد آن با توجه به راهروهای تخصیص داده‌شده به فضای اسکله محوطه و گمرک تعیین گردد. **محدودیت (۴)** هزینه نگهداری کانتینرها، مطابق تعرفه‌ی مترتب بر فرآیند تخلیه و بارگیری در اسکله، محوطه و گمرک را بررسی می‌کند. **محدودیت (۵)** بیانگر اختصاص فضا با ابعاد مختلف که به سبب استقرار کانتینرها اشغال‌شده در اسکله، محوطه و گمرک می‌باشد. **محدودیت (۶)** تضمین‌کننده‌ی حداکثر فضای تعیین‌شده برای اسکله، محوطه و گمرک بر طبق میزان حجم اشغال‌شده توسط کانتینرها می‌باشد. **محدودیت (۷)** بیانگر این است که ظرفیت باربری وسایل نقلیه اختصاص یافته به اسکله، محوطه و گمرک برحسب تعداد کانتینرهای کشتی، محوطه و گمرک برنامه‌ریزی می‌شود. **محدودیت (۸)** تأکید می‌کند که باربری کانتینرهای برنامه‌ریزی‌شده توسط وسایل نقلیه باید حداکثر به‌اندازه ظرفیت جرثقیل‌ها برای جابجایی کانتینرها در اسکله محوطه و گمرک صورت گیرد. **محدودیت (۹)** شکسته نشدن کانتینرها در بین طبقه‌هایی که فضای آن را اشغال کرده‌اند، در اسکله محوطه و گمرک بررسی می‌گردد. **محدودیت (۱۰)** مربوط به استقرار کانتینرها در طبقات با توجه به فضایی که هر کانتینر اشغال می‌کند و مساحت باقیمانده در آن طبقه در اسکله محوطه و گمرک است. **محدودیت‌های (۱۱)** تا **(۱۳)** به ترتیب مربوط به وضعیت تخصیص کانتینرها به طبقه‌ی mدر اسکله، محوطه و گمرک می‌باشد.

مدل (۱۴) تابع هدفی است که هزینه ناشی از نقل‌وانتقال عمودی بین کانتینرهای i و j را هنگامی‌که کانتینرهای مذکور در طبقات مختلف واقع‌شده‌اند، کمینه می‌کند. **محدودیت (۱۵)** شکسته نشدن کانتینرها در بین طبقه‌هایی که فضای آن را اشغال کرده‌اند، در اسکله محوطه و گمرک بررسی می‌گردد. **محدودیت (۱۶)** مربوط به استقرار کانتینرها در طبقات با توجه به فضایی که هر کانتینر اشغال می‌کند و مساحت باقیمانده در آن طبقه در اسکله محوطه و گمرک است. **محدودیت (۱۷)** تضمین می‌کند که برای هر کانتینر یک شماره‌ی طبقه جهت جانمایی آن در اسکله، محوطه و گمرک تعیین می‌گردد. **محدودیت‌های (۱۸)** تا **(۲۰)** به ترتیب مربوط به وضعیت تخصیص کانتینرها به طبقه‌ی m در اسکله، محوطه و گمرک می‌باشد.

۳-۲- تحلیل حساسیت آلفا در زمان انتظار مدل و انتخاب جرثقیل

با توجه به **شکل ۲** اگر سرعت جرثقیل ۱ متر بر ثانیه، همچنین زمان انتظار برای جرثقیل یک ۶۰ ثانیه و زمان انتظار برای جرثقیل دو ۴۰ ثانیه باشد و قصد داشته باشیم از کانتینر A به کانتینر B برویم از کدام جرثقیل استفاده می‌کنیم؟



شکل ۲- تأثیر آلفا بر انتخاب جرثقیل.

Figure 2- Effect of alpha on the crane selection.

$$\alpha=0 \quad \begin{cases} 1: 1+4+1+1=7 \\ 2: 1+3+6+1=11 \end{cases}$$
$$\alpha=1 \quad \begin{cases} 1: 1+4+1(60\times1)+1+1=67 \\ 2: 1+3+1(40\times1)+6+1=51 \end{cases}$$
$$\alpha=0.5 \quad \begin{cases} 1: 1+4+0.5(60\times1)+1+1=37 \\ 2: 1+3+0.5(40\times1)+6+1=31 \end{cases} \qquad (۱)$$
$$\alpha=0.1 \quad \begin{cases} 1: 1+4+0.1(60\times1)+1+1=13 \\ 2: 1+3+0.1(40\times1)+6+1=15 \end{cases}$$

در محاسبات بالا مقدار d^H_{ij} برای هر دو جرثقیل‌های α مختلف محاسبه‌شده است.

در مرحله اول که $\alpha=0$ است، از جرثقیل ۱ استفاده می‌شود یعنی نزدیک‌ترین جرثقیل به کانتینر این نوع انتخاب (بدون در نظر گرفتن زمان انتظار جرثقیل) در تمامی الگوریتم‌های قبلی آمده است. در مراحل دوم و سوم که $\alpha=1$ و $\alpha=0/5$ است، از جرثقیل ۲ و مرحله چهارم که $\alpha=0/1$ است ، از جرثقیل ۱ استفاده می‌شود. این تفاوت در انتخاب جرثقیل و درنتیجه آن تغییر مسیر، موجب می‌شود که به α توجه بیشتری شود. همان‌طور که در مثال بیان شد مقدار آلفا در فضای افقی مجازی که به علت زمان انتظار به وجود می‌آید تأثیر دارد و موجب انتخاب جرثقیل‌های متفاوت در طول حل مسئله می‌گردد که خود موجب تغییر مقدار تابع هدف می‌گردد.

$$dS_{ij}=\left(d^H_{irL_i}+dS^H_{rL_iS}+\alpha\left(V\left(tS_z+tS_z\left|yL_j.S_z-yL_i\right|\right)\right)+dS^H_{SrL_j}+d^H_{rL_jj}\right)+dS^V_{ij}; \qquad (۲۱)$$

$$dH_{ij}=\left(d^H_{irF_i}+dH^H_{rF_iH}+\alpha\left(V\left(tH_z+tH_z\left|yF_j.H_z-yF_i\right|\right)\right)+dH^H_{HrF_j}+d^H_{rFjj}\right)+dH^V_{ij}; \qquad (۲۲)$$

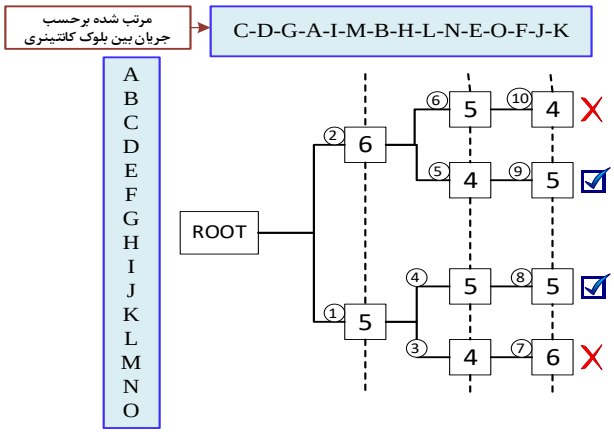
$$dK_{ij}=\left(d^H_{irG_i}+dK^H_{rG_iK}+\alpha\left(V\left(tK_z+tK_z\left|yG_j.K_z-yG_i\right|\right)\right)+dK^H_{KrG_j}+d^H_{rGjj}\right)+dK^V_{ij}. \qquad (۲۳)$$

۳- الگوریتم‌های حل مسئله

درروش تعیین استقرار کانتینرها در چندطبقه، در ابتدا شمای کلی از طرح استقرار کانتینرها و سپس شمای نمودار شاخه و کران مربوط به آن طرح بر اساس عملگرهای نام‌برده شده، رسم می‌شود و سپس کد عملگر نوشته می‌شود. برای حل مسئله بر اساس این الگوریتم ابتدا جدول f_{IJ} که به ترتیب میزان ارتباط بین کانتینرها را در اسکله و محوطه، گمرک نشان می‌دهد، برحسب نزولی مرتب می‌شود و کانتینرهای مربوط به هرکدام از f_{IJ} مشخص می‌شود در طبقه اول تا آخر جایگذاری می‌گردد؛ یعنی کانتینرهایی که در موقعیت بیشترین جریان با هم قرار دارند، در مجاورت هم واقع می‌شوند.

این الگوریتم که روشی برای کمینه کردن هزینه‌ها در تعیین استقرار کانتینرها است، با استفاده از روند مخصوص به خود در این روش به تعویض چیدمان کانتینرها و حل مسئله می‌پردازد. یکی از بخش‌های شاخص قابل‌بحث در الگوریتم پیشنهادی، نمودارهای شاخه و کران است. تعداد سطوح این روش برحسب تعداد طبقات کانتینرها و بر پایه مساحت فضای اشغال‌شده توسط آن‌ها، تعداد کانتینرها در هر گره‌ی نمودار شاخه و کران در سطح‌های مختلف قرار می‌گیرد. پس از مرتب شدن کانتینرها (برحسب نزولی برای جریان بین کانتینرها) تعداد کانتینرهای ممکن بر پایه مساحت اشغال‌شده آن‌ها، در هر گره در سطوح مختلف مستقر می‌گردد و در سطح آخر تعداد کانتینرهای باقی‌مانده‌ی هر شاخه، در گره‌های مختلف قرار می‌گیرد. با در نظر گرفتن محدودیت در فضای اشغال‌شده در سطح آخر، بعضی از گره‌ها با توجه به فضای اشغال‌شده توسط کانتینرهایی که در آن‌ها مستقر می‌شوند و مساحتی که در طبقه آخر ایجاد می‌کنند، قابل‌پذیرش نیستند و به همین علت باید شاخه مربوط به آن حذف گردد. برای تبیین روش پیاده‌سازی الگوریتم فرض می‌شود که ۱۵ نوع بلوک کانتینری در یک فضا مستقر باشد. مرتب‌سازی کانتینرها برحسب نزولی برای جریان بین بلوک‌ها بر طبق نمودار زیر است. در ابتدا با توجه به مساحت اشغال‌شده سطح اول تعداد بلوک‌های کانتینری می‌تواند در آن جای بگیرد. در گره ۱ و ۲ مشخص‌شده‌اند، عدد ۵ در گره ۱ نمایانگر ۵ نوع بلوک کانتینری اول لیست مرتب‌شده می‌باشد یعنی بلوک کانتینرهای نوع I,A,G,D,C.

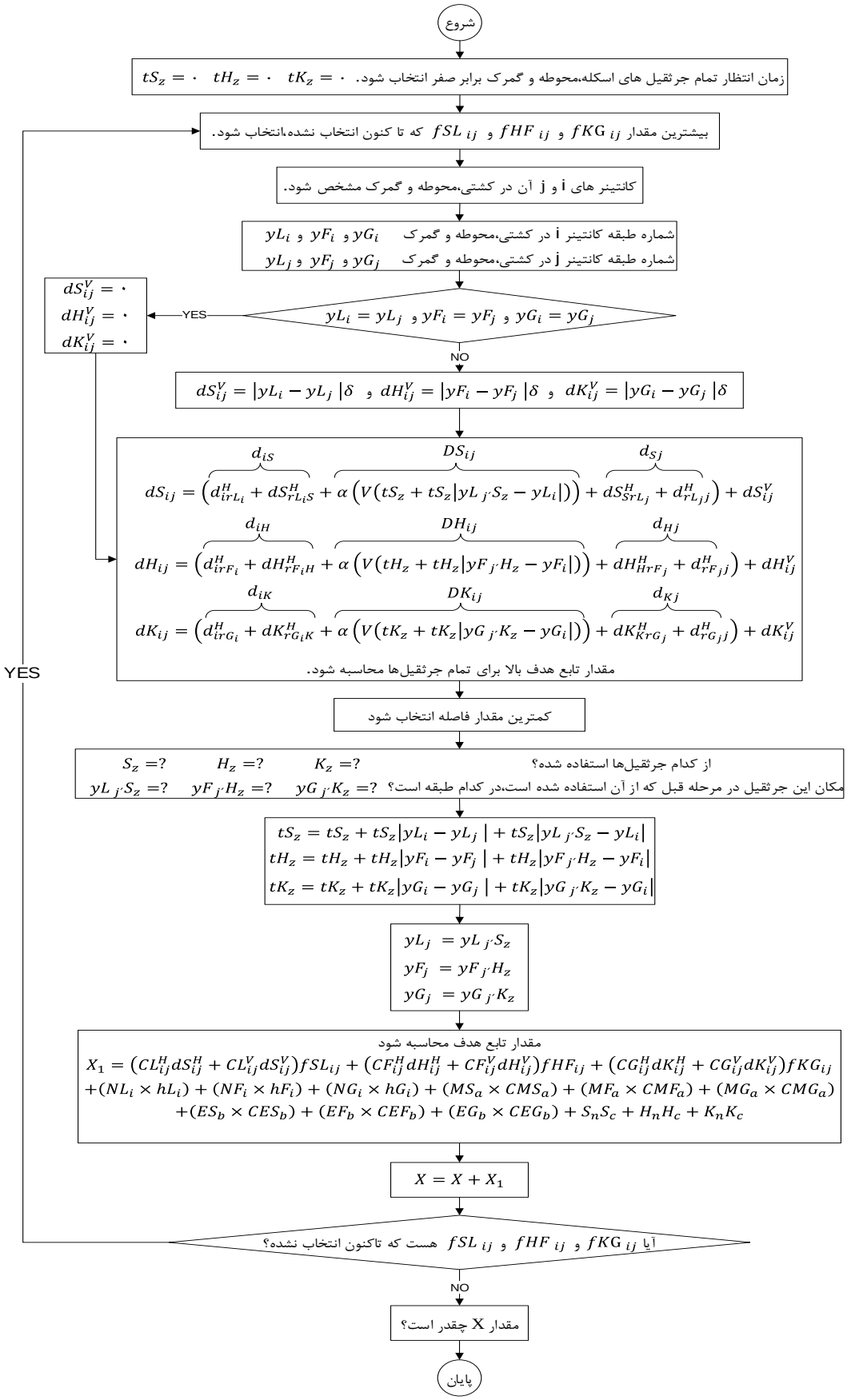
برای گره دوم بلوک نوع M نیز به آن‌ها اضافه می‌شود. علت تفاوت در تعداد بلوک‌های کانتینری هر سطح این است که هر بلوک یک کمینه و بیشینه برای فضای اشغال‌شده توسط کانتینرهای خود دارد و با انتخاب متفاوت آن‌ها مقدار مساحت تغییر می‌کند. برای سطح دوم نیز گره‌های ۳ الی ۶ مشخص‌شده‌اند در سطح آخر کانتینری باقی‌مانده مستقر می‌گردد. همان‌گونه که در شکل نمایان است، گره‌ی ۷ به دلیل اینکه مجموع کمینه‌ی مساحت‌های اشغال‌شده‌ی ۶ بلوک کانتینری آخر بیش از مساحت سطح آخر است و گره ۱۰ به علت اینکه مجموع حداکثر مساحت‌های ۴ بلوک کانتینری آخر کمتر از مساحت سطح آخر می‌باشد و سطح را پر نمی‌کند، قابل‌پذیرش نیست؛ درنتیجه شاخه‌های مربوط به دو گره‌ی ۷ و ۱۰ حذف می‌گردد و تعیین جانمایی آن‌ها انجام نمی‌شود.



شکل ۳- الگوریتم لوجیک.
Figure 3- Logical algorithms.

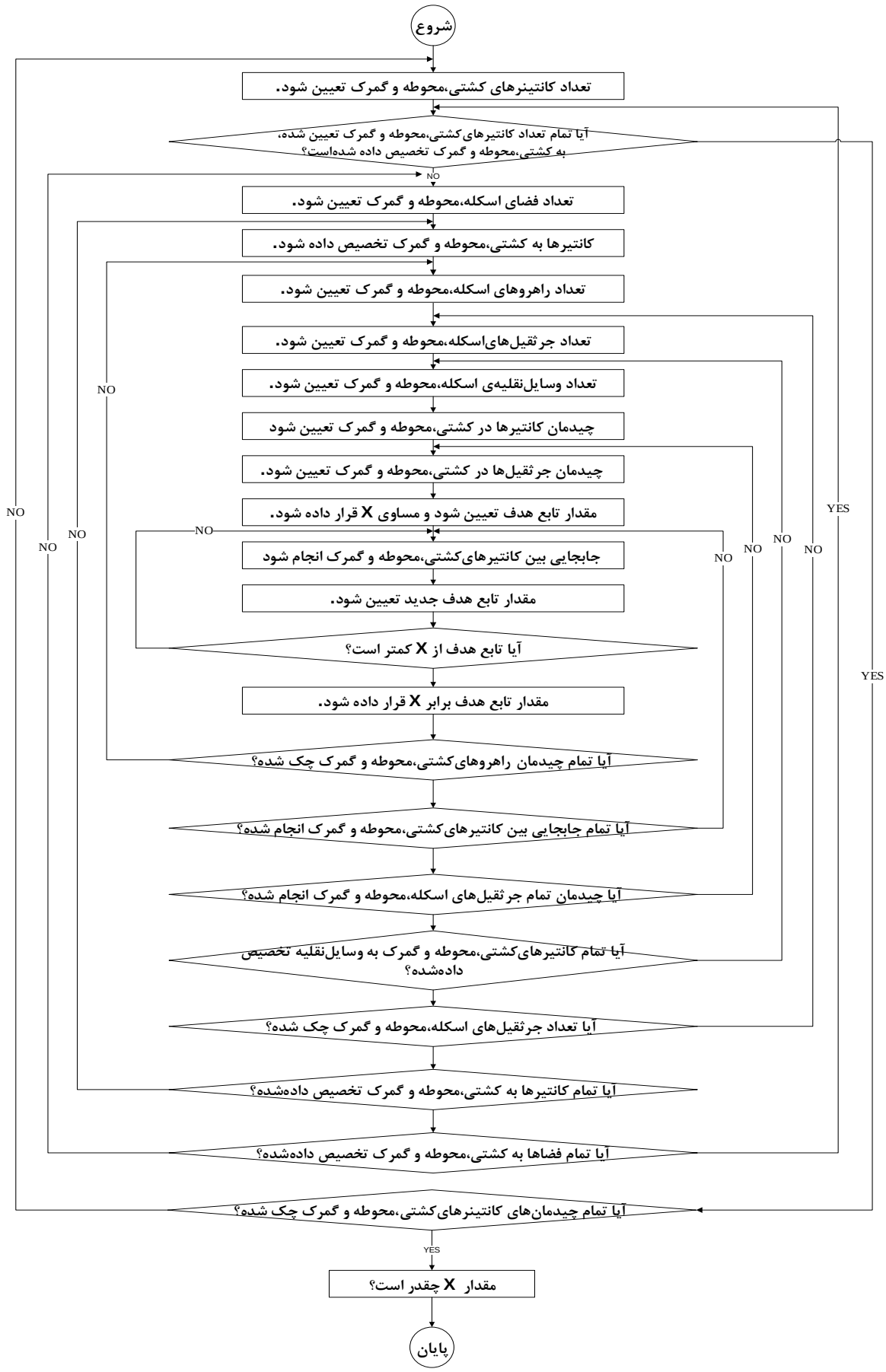
الگوریتم لوجیک به عنوان یکی از روش‌های ریاضی-هندسی به حل مسائل می‌پردازد، اما این الگوریتم محدودیت‌های زیادی برای حل مسائل چیدمان دارد. ازجمله محدودیت‌ها می‌توان بهبود راهروها و تعیین کردن و یا حذف کردن راه‌های عمومی و افقی نام برد. این محدودیت خود موجب غیرعملی بودن این الگوریتم در واقعیت می‌گردد. این اپراتورهای جدید و استفاده از نهادهای جدید و به کارگیری هم‌زمان این موارد موجب می‌شود الگوریتم لوجیک کارهای لازم را در عمل داشته باشد. در ادامه به معرفی نهادهای جدیدی که در الگوریتم

استفاده‌شده است، می‌پردازیم. برای اینکه الگوریتم دارای اثربخشی بیشتری باشد ۱۵ نوع اپراتور یا عملگر نیز الگوریتم اضافه‌شده است که آن‌ها نیز در بخش زیر معرفی می‌گردد (اسدی لاری و همکاران، ۲۰۱۹).



شکل ۴- فلوچارت حل تابع هدف.

Figure 4- Flowchart of solving the objective function.

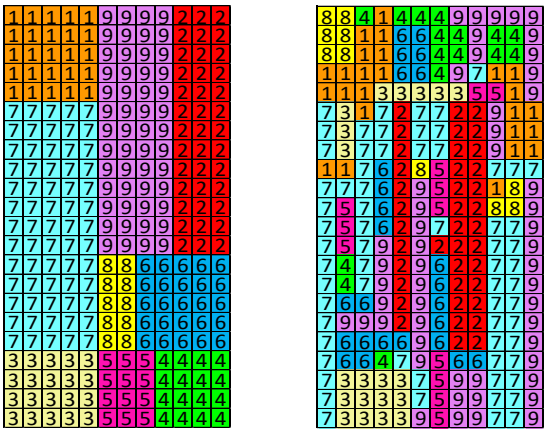


شکل ۵- فلوچارت اصلی حل مسئله.

Figure 5- Flowchart of the main problem solving.

۱-۳- عملگرهای جدید الگوریتم لوجیک

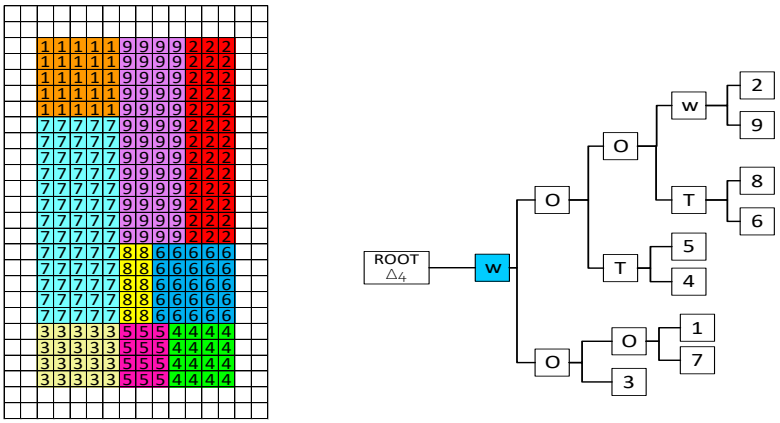
عملگر استقرار کانتینرها در سرزمین اصلی: در این عملگر فقط کانتینرهای هم نوع بدون در نظر گرفتن هزینه در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند.



شکل ۶- شکل ابتدایی کانتینرها.

Figure 6- Basic shape of containers.

عملگر شماره ۱: استقرار کانتینرهای مرتب‌شده در راهروهای اصلی کشتی، محوطه و اسکله.

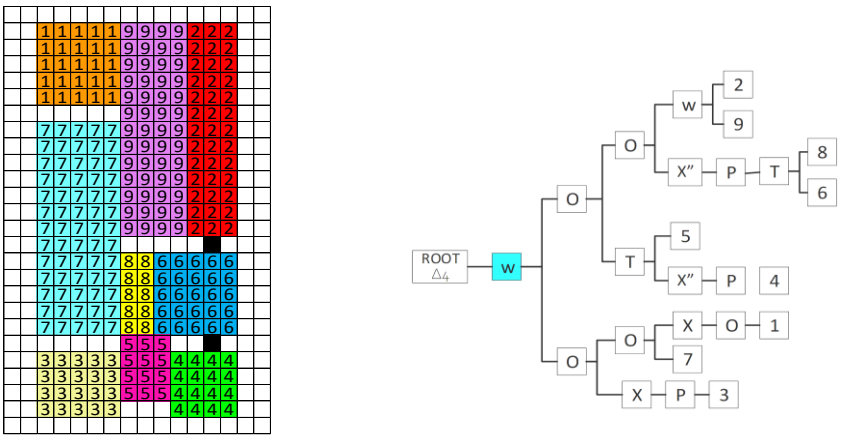


Code1-1:2-9-w-8-6-T-O-5-4-T-O-1-7-O-3-O-w-Δ4

شکل ۷- شکل ابتدایی کانتینرها در محوطه.

Figure 7- Basic shape of the containers in the yard.

عملگر شماره ۲(factor RH): اضافه کردن بعضی از راهروهای افقی.

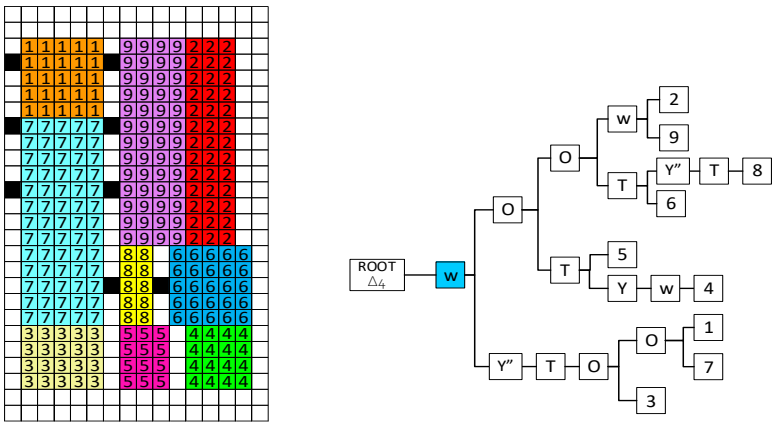


Code2:2-9-w-8-6-T-P-X″-O-5-4-P-X″-T-O-1-O-X-7-O-3-P-X-O-w-Δ4

شکل ۸- شکل اضافه کردن بعضی از راهروهای افقی.

Figure 8- Factor RH operator.

عملگر شماره ۳ (Factor RV): اضافه کردن بعضی از راهروهای عمودی.

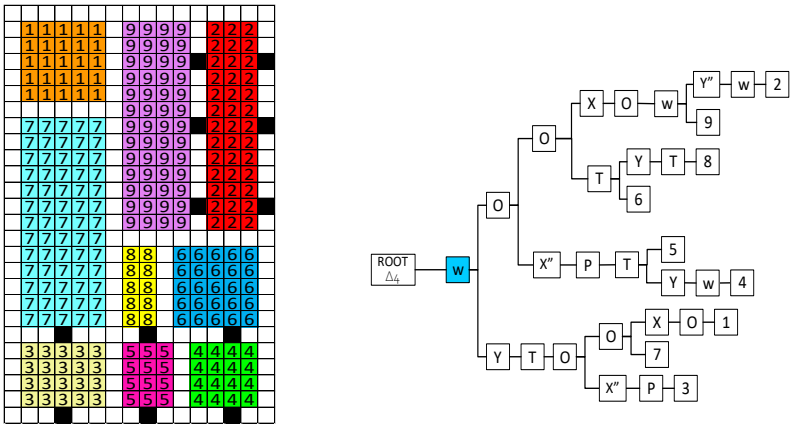


Code3:2-9-w-8-T-Y″-6-T-O-5-4-w-Y-T-O-1-7-O-3-O-T-Y″-w-Δ4

شکل ۹- اضافه کردن بعضی از راهروهای عمودی.

Figure 9- Factor RV operator.

عملگر شماره ٤ (Factor RHV): اضافه کردن همه راهروها.

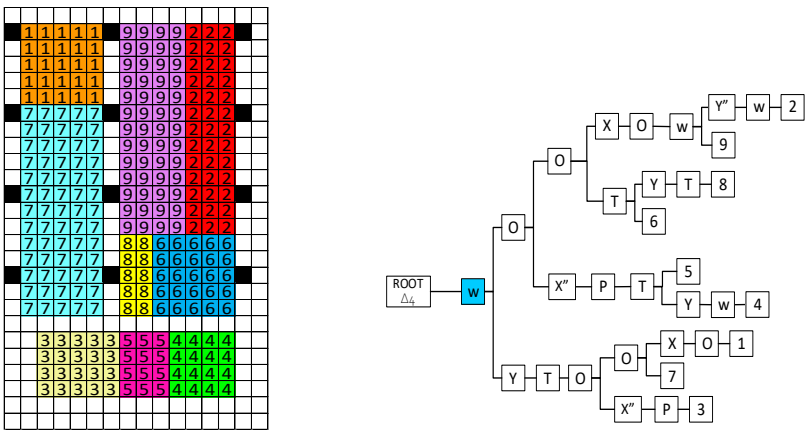


Code4:2-w-Y″-9-w-O-X-8-T-Y″-6-T-O-5-4-w-Y-T-P-X″-O-1-O-X-7-O-3-P-X″-O-T-Y-W-Δ4

شکل ۱۰- اضافه کردن همه راهروها.

Figure 10- Factor RHV operator.

عملگر شماره ۵ (Factor RT): اضافه کردن راهروی *T*.

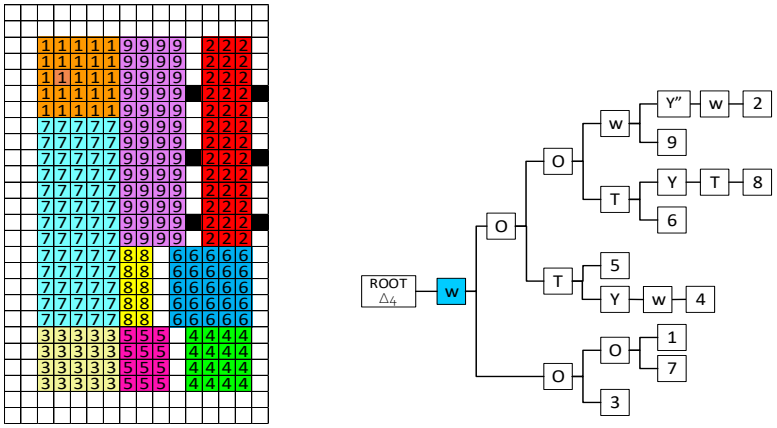


Code5:2-9-w-8-6-T-O-w-Y″-5-4-T-P-X-O-1-7-O-3-P-X-O-T-Y″-w-Δ4

شکل ۱۱- اضافه کردن راهروی T.

Figure 11- factor RT operator.

عملگر شماره ٦ (Factor DRH): حذف بعضی از راهروهای افقی

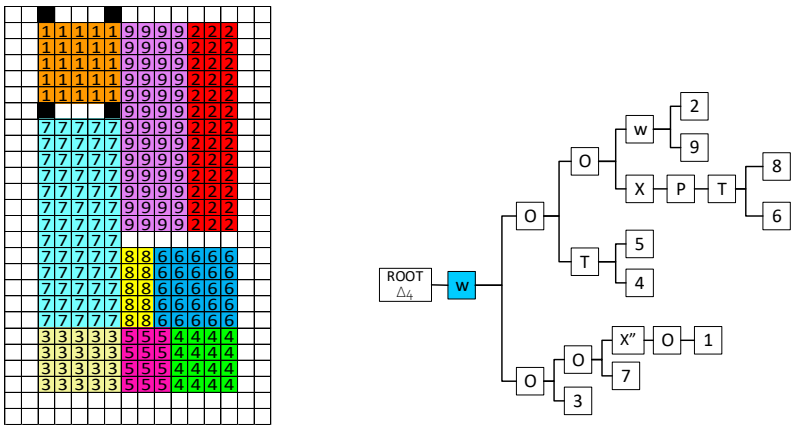


Code6:2-w-Y″-9-w-8-T-Y-6-T-O-5-4-w-Y-T-O-1-7-O-3-O-w-Δ4

شکل ۱۲- حذف بعضی از راهروهای افقی.

Figure 12- Factor DRH operator.

عملگر شماره ۷ (*Factor DRV*): حذف بعضی از راهروهای عمودی

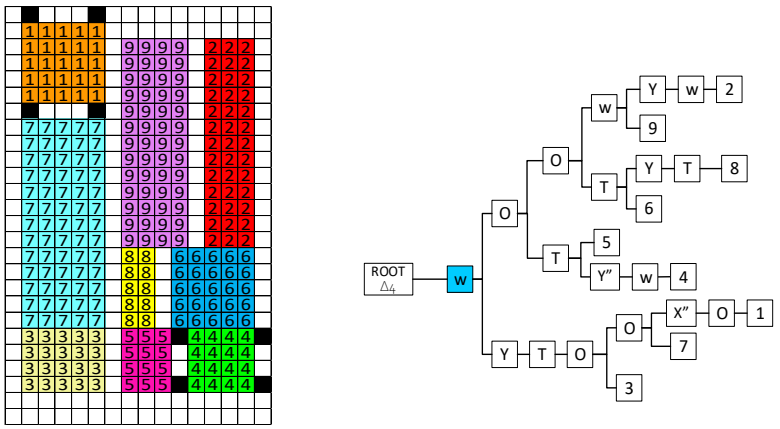


Code7:2-9-w-8-6-T-P-X-O-5-4-T-O-1-O-X″-7-O-3-O-w-Δ4

شکل ۱۳- حذف بعضی از راهروهای عمودی.

Figure 13- Factor DRV operator.

عملگر شماره ۸ (Factor DRT): حذف راهروی T .

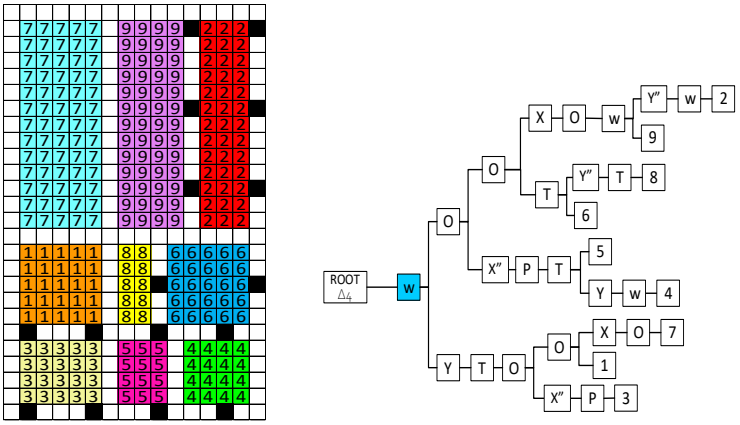


Code8:2-w-Y-9-w-8-T-Y-6-T-O-5-4-w-Y″-T-O-1-O-X″-7-O-3-O-T-Y-w-Δ4

شکل ۱۴- حذف راهروی T.

Figure 14- Factor DRT operator.

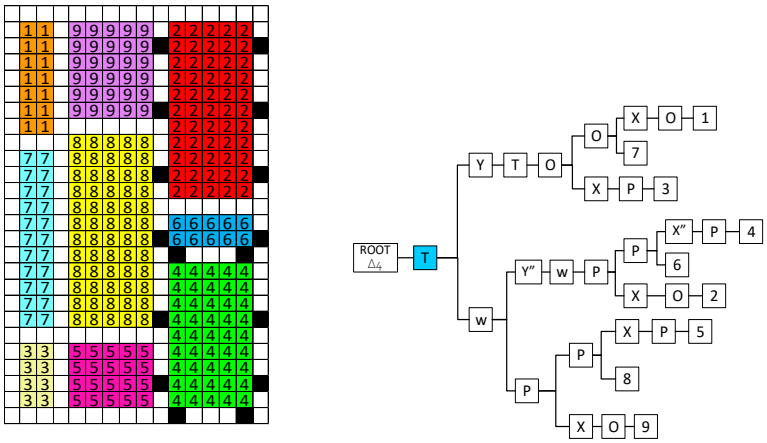
عملگر شماره ۹ (Factor Blocks): جابجایی بلوک‌ها.



Code9:2-w-Y″-9-w-O-X-8-T-Y″-6-T-O-5-4-w-Y-T-P-X″-O-7-O-X-1-O-3-P-X″-O-T-Y-w-Δ4

شکل ۱۵- جابجایی بلوک‌ها.
Figure 15- Factor blocks.

عملگر شماره ۱۰ (Factor Period): چیدمان بازه‌ای کانتینرها.



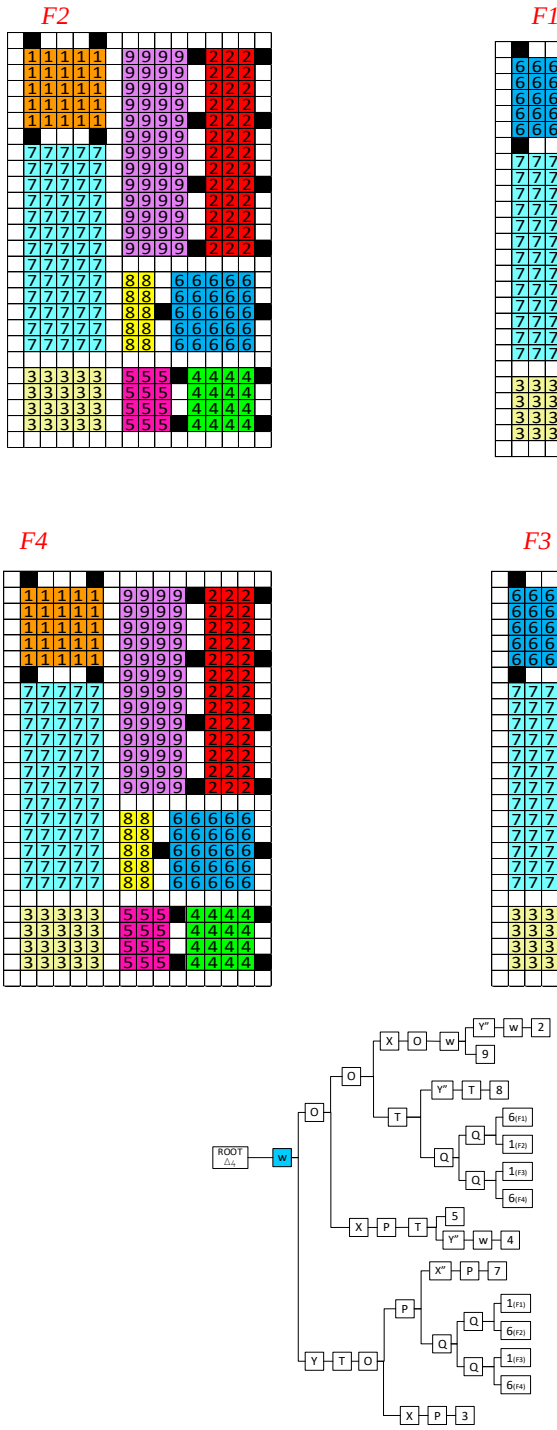
Code10:1-O-X-7-O-3-P-X-O-T-Y-4-P-X″-6-P-2-O-X-P-w-Y″-5-P-X-8-P-9-O-X-P-w-T-Δ4

شکل ۱۶- چیدمان بازه‌ای کانتینرها.
Figure 16- Factor period.

جدول ۴- بازه‌های مجاز کانتینرها.
Table 4- Permissible intervals of containers.

شماره کانتینرها	بازه‌های مجاز کانتینر نوع i	تعداد منتخب
کانتینر نوع ۱	$10 \le i \le 27$	14
کانتینر نوع ۲	$38 \le i \le 58$	55
کانتینر نوع ۳	$6 \le i \le 22$	8
کانتینر نوع ۴	$14 \le i \le 48$	45
کانتینر نوع ۵	$10 \le i \le 25$	20
کانتینر نوع ۶	$8 \le i \le 15$	10
کانتینر نوع ۷	$20 \le i \le 68$	22
کانتینر نوع ۸	$10 \le i \le 60$	60
کانتینر نوع ۹	$25 \le i \le 55$	30

عملگر شماره ۱۱ (Factor change floor): تغییر نوع کانتینرها در طبقه‌های جدید.

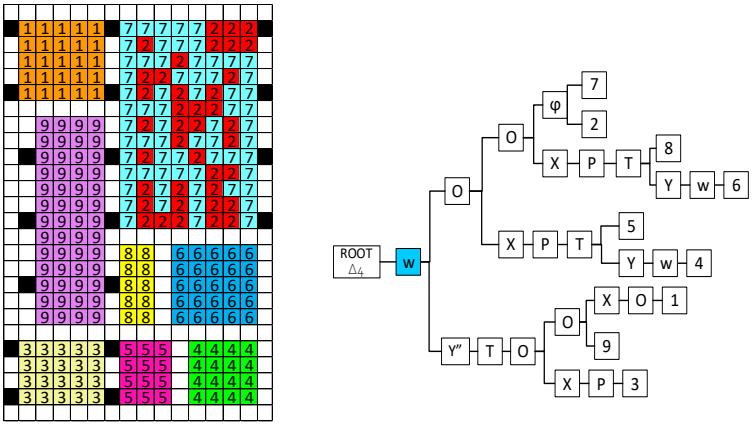


Code11:2-w-Y″-9-w-O-X-8-T-Y″-6(F1)-1(F2)-Q-6(F3)-1(F4)-Q-Q-T-O-5-4-w-Y″-T-P-X-O-7-P-X″-1(F1)-6(F2)-Q-1(F3)-6(F4)-Q-Q-P-3-P-X-O-T-Y-w-Δ4

شکل ۱۷- تغییر نوع کانتینرها در طبقه‌های جدید.

Figure 17- Factor change floor.

عملگر شماره ۱۲ (Factor flow): ادغام کانتینرهای با ارتباط یکسان.

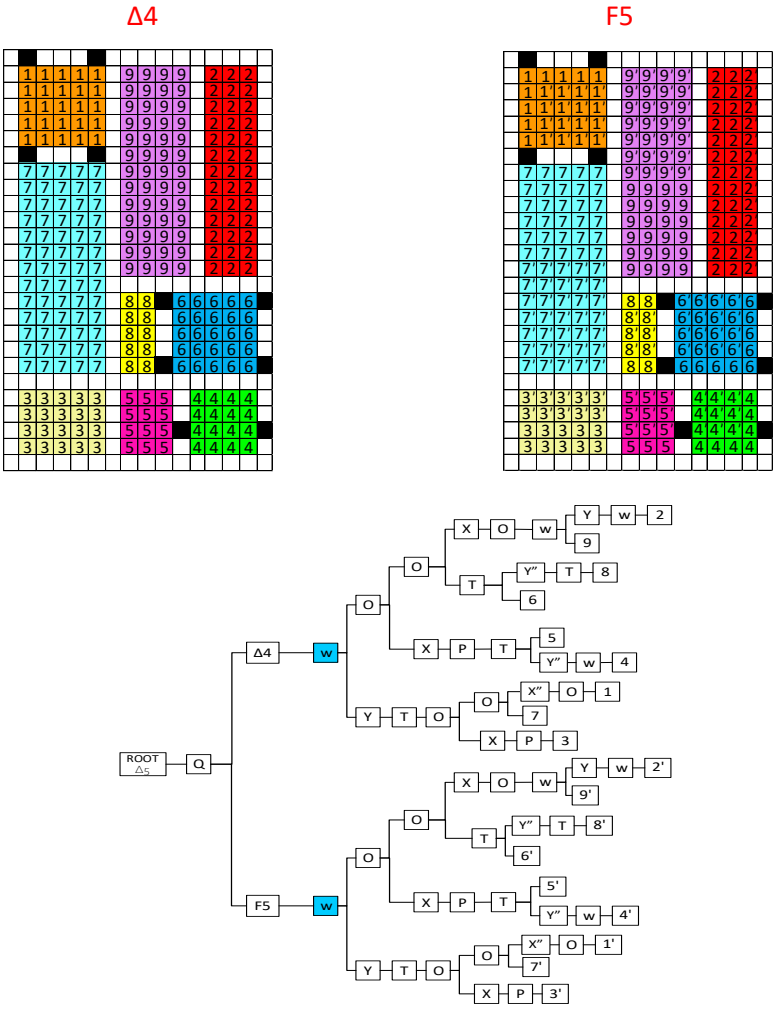


Code12:2-7- φ-8-6-w-Y-T-P-X-O-5-4-w-Y-T-P-X-O-1-O-X-9-O-3-P-X-O-T-Y″-w-Δ4

شکل ۱۸- ادغام کانتینرهای با ارتباط یکسان.

Figure 18- Factor flow.

عملگر شماره ۱۳ (Factor new floor): تعداد طبقات اضافه شود.

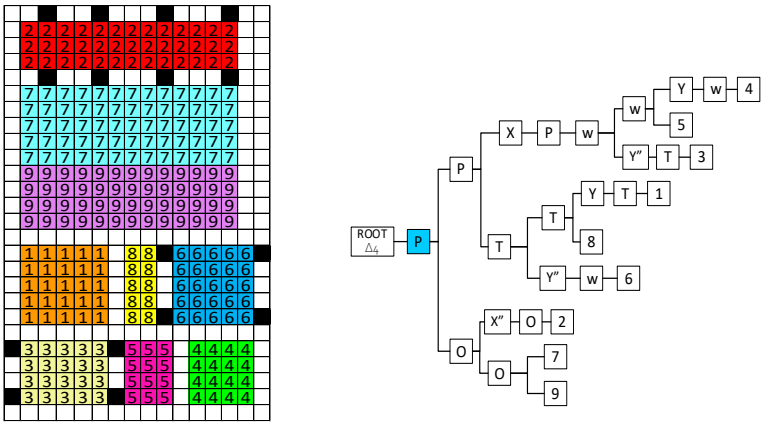


Code13:2-w-Y-9-w-O-X-8-T-Y″-6-T-O-5-4-w-Y″-T-P-X-O-1-O-X″-7-O-3-P-X-O-T-Y-W-Δ4-2'-w-Y-9'-w-O-X-8'-T-Y″-6'-T-O-5'-4'-w-Y-″T-P-X-O-1'-O-X″-7'-O-3'-P-X-O-T-Y-w-F5-Q

شکل ۱۹- تعداد طبقات اضافه شود.

Figure 19- Factor new floor.

عملگر شماره ۱۴ (Factor width): جابجایی طول و عرض بلوک‌ها.

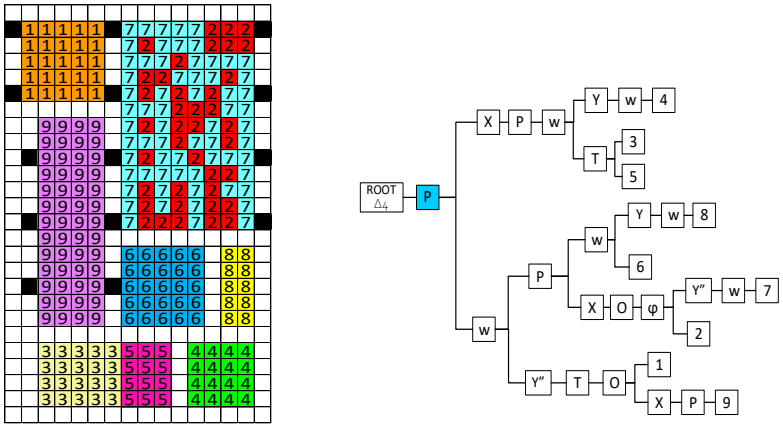


Code14:4-w-Y-5-w-3-T-Y″-w-P-X-1-T-Y-8-T-6-w-Y″-T-P-2-O-X″-7-9-O-O-P-Δ4

شکل ۲۰- جابجایی طول و عرض بلوک‌ها.

Figure 20- Factor width.

عملگر شماره ۱۵ (Factor aggregation): تجمیع چند عملگر مختلف.



Code15:4-w-Y-3-5-T-w-P-X-8-w-Y-6-w-7-w-Y″-2-φ-O-X-P-1-9-P-X-O-T-Y″-w-P-Δ4

شکل ۲۱- تجمیع چند عملگر مختلف.

Figure 21- Factor aggregation.

جدول ۵- نماد عملگرهای الگوریتم پیشنهادی.

Table 5- Symbol of the operators of the Heuristic algorithm.

راهرو عمودی	Y	بالا	O
تعویض طبقه	Q	پایین	P
طبقه اول	(F1)	چپ	T
تمام چهار طبقه	Δ4	راست	w
کانتینرهای چیده شده در طبقه‌ی جدید	1'-2'-3'-…-9'	طبقه	F,Δ
راهرویی که جرثقیل در آن مستقر است	X″	ادغام کانتینر با ارتباط یکسان	φ
راهرویی که جرثقیل در آن مستقر است	Y″	راهرو افقی	X

۲-۳- نحوه استفاده عملگرها در فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

جهت تسهیل در درک آسان مدل‌سازی و حل الگوریتم پیشنهادی فلوچارت **شکل ۴** ارائه‌شده است که در آن انتخاب مطلوب‌ترین میزان ارتباط بین کانتینرهای تخصیص‌یافته برای جابجایی توسط جرثقیل‌ها بین طبقات مختلف در فضای اسکله، محوطه و گمرک صورت

می‌گیرد در ابتدا هدف شاخص قابل‌بررسی، کمینه شدن هزینه‌ی نقل‌وانتقال عمودی کانتینرها برای استقرار در طبقات مختلف می‌باشد. سپس کانتینرها فقط در طبقات توسط جرثقیل‌ها جابجا می‌شوند و نتیجه مطلوب در این مرحله حداقل سازی هزینه‌های افقی می‌باشد. چنانچه استقرار در حالت‌های متفاوت مطابق عملگرهای شماره ۱ تا ۱۵ مسبب بهینه‌تر شدن تابع هدف شود موردپذیرش است. بررسی روند حل مسئله استقرار کانتینرها در اسکله، محوطه و گمرک توسط فلوچارت دیگری در **شکل ۵** با رویکرد کمی انجام می‌شود که چنانچه در طی حل مسئله جواب مطلوب به دست آید، اجازه جابجایی استقرار کانتینرها را در حالت‌های مختلف و بررسی چیدمان تمامی راهروها، جرثقیل‌ها، وسایل نقلیه و فضاهای اختصاص‌یافته در اسکله، محوطه و گمرک می‌دهد که این جانمایی سبب حاصل شدن نتیجه‌ی بهینه جهت کمینه‌سازی مدل می‌شود. بررسی تمامی حالت‌های ممکن مطابق عملگرهای شماره ۱ تا ۱۵ انجام می‌شود که تمامی حالت‌های معرفی‌شده برای اثرگذاری بهینه بر تمامی فاکتورهای قابل‌بررسی و دستیابی به جواب حداقل سازی هزینه کل می‌باشد.

۴- اجرای الگوریتم و اعتبارسنجی

چیدمان کانتینرها همان‌طور که در زیر مشاهده می‌گردد، کانتینرها در سه قسمت هر یک به مساحت ۲۷۰۰ کانتینر تعیین‌شده است. تعداد کل کانتینرها بیان‌شده و تعداد طبقه‌های کانتینرها ۵ طبقه می‌باشد. اگر راهروهای اجباری که سه راهرو می‌باشد، تعداد ۵۴۰ کانتینر از مساحت کل ۲۷۰۰ کانتینر کسر می‌گردد که تعداد ۲۱۶۰ کانتینر از مساحت کل باقی می‌ماند. مقادیر مختلف پارامترها به ترتیب در زیر بیان شده است.

جدول ۶- داده‌های مسئله.
Table 6- Problem data.

تعداد کانتینر نوع 1	270	ظرفیت جرثقیل (S) اسکله برای تخلیه و بارگیری کانتینر نوع i در واحد زمان	91	ارتفاع کانتینر	2/35m
تعداد کانتینر نوع 2	270	ظرفیت جرثقیل محوطه (H)برای تخلیه و بارگیری کانتینر نوع i در واحد زمان	93	هزینه تعرفه	1/45$
تعداد کانتینر نوع 3	120	ظرفیت جرثقیل (K) گمرک برای تخلیه و بارگیری کانتینر نوع i در واحد زمان	66	مساحت اسکله	2700
تعداد کانتینر نوع 4	180	ظرفیت وسایل نقلیه شماره a کشتی	30	مساحت محوطه	2700
تعداد کانتینر نوع 5	90	ظرفیت وسایل نقلیه شماره a محوطه	28	مساحت گمرک	2700
تعداد کانتینر نوع 6	60	ظرفیت وسایل نقلیه شماره a گمرک	26	مساحت راهرو قابل تخصیص‌اسکله	540
تعداد کانتینر نوع 7	420	مدت زمان کارکرد جرثقیل اسکله برای انتقال کانتینر نوع i	8	مساحت راهرو قابل تخصیص محوطه	540
تعداد کانتینر نوع 8	240	مدت زمان کارکرد جرثقیل محوطه برای انتقال کانتینر نوع i	8	مساحت راهرو قابل تخصیص گمرک	540
تعداد کانتینر نوع 9	180	مدت زمان کارکرد جرثقیل گمرک برای انتقال کانتینر نوع i	8	مساحت کانتینر نوع i تخصیص‌داده شده به جرثقیل اسکله	18
تعداد کانتینر نوع 10	270	مدت زمان بیکاری جرثقیل اسکله طی انتقال کانتینر نوع i	1/5h	مساحت کانتینر نوع i تخصیص‌داده شده به جرثقیل محوطه	18
تعداد کانتینر نوع 11	270	مدت زمان بیکاری جرثقیل محوطه طی انتقال کانتینر نوع i	1/8h	مساحت کانتینر نوع i تخصیص‌داده شده به جرثقیل گمرک	18
تعداد کانتینر نوع 12	120	مدت زمان بیکاری جرثقیل گمرک طی انتقال کانتینر نوع i	2h	مقدار جریان کانتینر i و j بین کشتی و جرثقیل اسکله	2100

تعداد کانتینر نوع 13	180	نوع برنامه‌ریزی i تعداد کانتینر شده‌ی کشتی	1830	بین j و i مقدار جریان کانتینر محوطه و جرثقیل محوطه	1800
تعداد کانتینر نوع 14	90	نوع برنامه‌ریزی i تعداد کانتینر شده‌ی محوطه	1830	بین j و i مقدار جریان کانتینر گمرک و جرثقیل گمرک	1800
تعداد کانتینر نوع 15	60	تعداد کانتینر i نوع برنامه‌ریزی شده‌ی گمرک	1830	هزینه وسایل نقلیه‌ی شماره a اسکله	30$
تعداد کانتینر نوع 16	420	فضای اشغال‌شده توسط کانتینرهای اسکله	2160	هزینه وسایل نقلیه‌ی شماره aمحوطه	28$
تعداد کانتینر نوع 17	240	فضای اشغال‌شده توسط کانتینرهای محوطه	2160	هزینه وسایل نقلیه‌ی شماره a گمرک	26$
تعداد کانتینر نوع 18	180	فضای اشغال‌شده توسط کانتینرهای گمرک	2160	هزینه فضای شماره b اسکله	11500
تعداد کانتینر نوع 19	270	هزینه جابجایی افقی کانتینر کشتی j و i از نوع	3	محوطهbهزینه فضای شماره	11000
تعداد کانتینر نوع 20	270	هزینه جابجایی عمودی کانتینر j و i کشتی از نوع	7	گمرکbهزینه فضای شماره	10000
تعداد کانتینر نوع 21	120	هزینه جابجایی افقی کانتینر j و i محوطه از نوع	2	هزینه نگهداری کانتینر ازنوع درکشتی i	33$
تعداد کانتینر نوع 22	180	هزینه جابجایی عمودی کانتینر j و i محوطه از نوع	6/5	در i هزینه نگهداری کانتینر از نوع محوطه	28$
تعداد کانتینر نوع 23	90	هزینه جابجایی افقی کانتینر گمرك j و i از نوع	1	در i هزینه نگهداری کانتینر از نوع گمرک	25$
تعداد کانتینر نوع 24	60	هزینه جابجایی عمودی کانتینر j و i گمرك از نوع	5	هزینه نصب جرثقیل اسکله در بندر	12000
تعداد کانتینر نوع 25	420	سرعت جرثقیل	5m/min	محوطه در هزینه نصب جرثقیل بندر	11000
تعداد کانتینر نوع 26	240	تعداد طبقات کانتینرها	5	گمرک در بندر هزینه نصب جرثقیل	10000
تعداد کانتینر نوع 27	180	تعداد کل کانتینرها	5490	راهرو اجباری	1620

جدول ۷- جریان بین کانتینرهای‌اسکله.

Table 7 - Flow between wharf containers.

fSL_{ij}	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	540	500	0	0	0	540	535	0
2	540	0	540	0	0	0	835	0	0
3	535	565	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	50	835	0	0	830
5	0	0	0	30	0	195	30	835	1200
6	0	0	0	835	220	0	835	30	30
7	540	835	0	0	30	835	0	1080	0
8	560	0	0	0	760	30	0	0	0
9	0	0	0	835	1300	40	0	0	0

جدول ۸- جریان بین کانتیرهای‌محوطه.

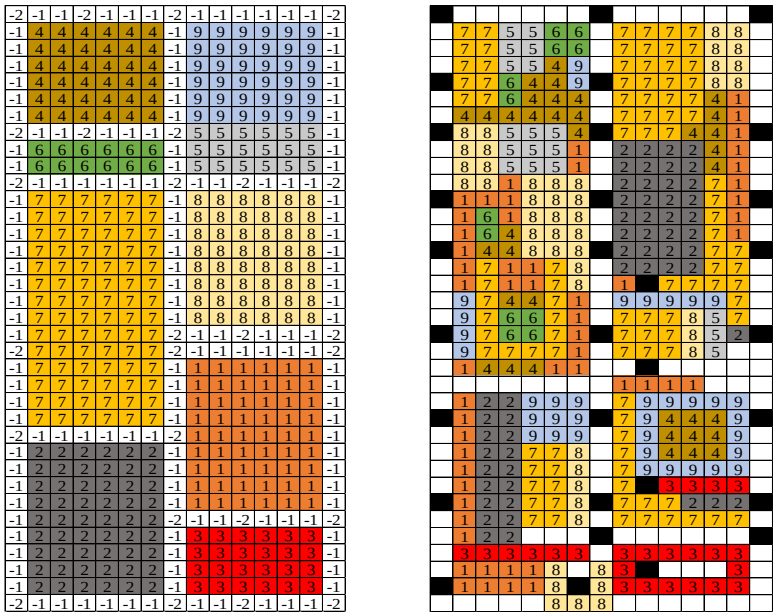
Table 8 - Flow between enclosures.

fHF_{ij}	10	11	12	13	14	15	16	17	18
10	0	30	465	0	195	295	700	730	0
11	30	0	0	50	0	535	0	1130	1200
12	565	0	0	0	1500	0	097	0	0
13	0	50	0	0	0	0	0	840	1000
14	295	0	0	0	0	0	300	0	0
15	195	635	0	0	0	0	835	30	0
16	600	0	1650	0	200	760	0	0	0
17	835	1110	0	835	0	20	0	0	50
18	0	1300	0	700	0	0	0	50	0

جدول ۹- جریان بین کانتینرهای گمرک.

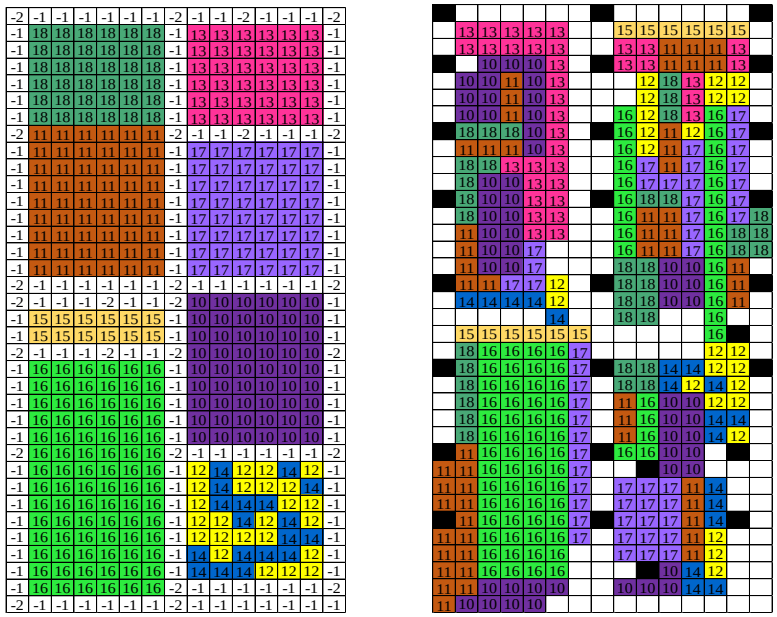
Table 9 - Flow between customs containers.

27	26	25	24	23	22	21	20	19	fKG_{ij}
0	0	1300	0	735	0	925	20	0	19
0	700	830	830	330	0	0	0	20	20
0	0	550	0	0	0	0	0	900	21
810	20	0	730	0	0	0	0	0	22
0	835	20	0	0	0	0	540	830	23
20	300	0	0	0	835	0	835	0	24
0	0	0	0	20	0	460	815	1150	25
0	0	0	245	830	20	0	835	0	26
0	750	0	20	0	810	0	0	0	27



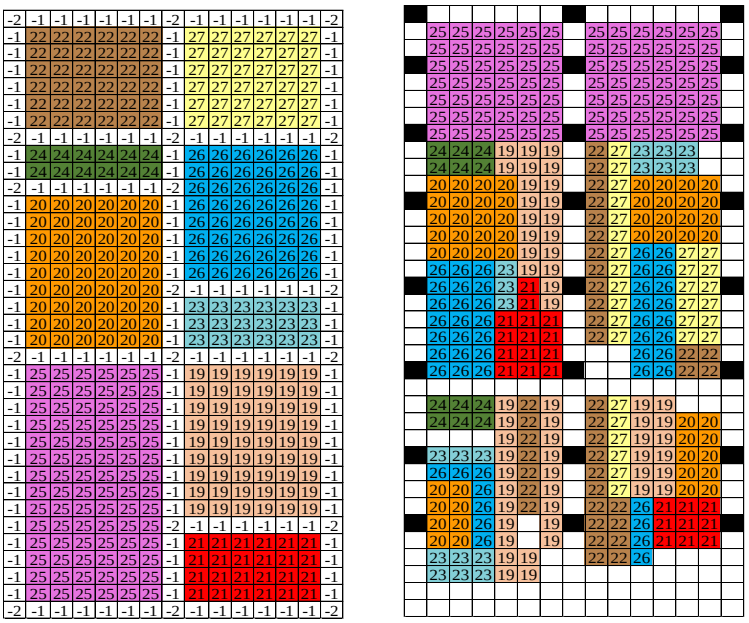
شکل ۲۲- راست: چیدمان در اسکله بندر، چپ: چیدمان در اسکله، پس از حل در الگوریتم.

Figure 22- Right: Arrangement at the port dock, left: Arrangement at the dock, after solving in the algorithm.



شکل ۲۳- راست: چیدمان در محوطه بندر، چپ: چیدمان در محوطه، پس از حل در الگوریتم.

Figure 23- Right: Layout in the port area, left: Layout in the yard, after solving in the algorithm.



شکل ۲۴- راست: چیدمان در گمرک بندر، چپ: چیدمان در گمرک، پس از حل در الگوریتم.

Figure 24- Right: Arrangement at port customs, Left: Arrangement at customs, after solving in algorithm.

بنادر می‌تواند علاوه بر خدماتی که دستگاه‌های اجرایی ارائه می‌کنند، بهای خدمات عمومی، زیر بنائی و مهندسی و تسهیلات مواصلاتی، انبارداری، تخلیه، بارگیری، بهداشتی، فرهنگی، ارتباطـات، آموزشی و رفاهی را که رأساً در منطقه ارائه می‌کند، از اشخاص حقیقی و حقوقی دریافت کنـد. تعرفـه وجوه مذکور که باید متناسب با خدمات مربوط و باهدف حفظ موقعیت رقابتی هر منطقه باشد. **جدول ۱۰** یکی از تعرفه‌های مهم خدمات بندری مشترك با سازمان بنادر و دریانوردی بر اساس آخرین نرخ مصوب سازمان بنادر و دریانوردی می‌باشد.

جدول ۱۰- تعرفه‌های متغیر انواع کانتینرها.

Table 10- Variable tariffs for different types of containers.

کاربری	ضریب آلایندگی $\beta_{G_i}, \beta_{F_i}, \beta_{L_i}$ به ازا هر مترمربع	مساحت (مترمربع)	ضریب تعرفه $\sigma_{G_i}, \sigma_{F_i}, \sigma_{L_i}$ به ازای هر مترمربع
شیمیایی	1/2	تا 50000	$\sigma_{G_i},\sigma_{F_i},\sigma_{L_i}$=1/2
حمل‌ونقل	1	از 5000 تا 10000	$\sigma_{G_i},\sigma_{F_i},\sigma_{L_i}$=1/0
غذایی	0/75	از 10000 تا 20000	$\sigma_{G_i},\sigma_{F_i},\sigma_{L_i}$=0/8
معدنی و سلولزی	1/2	از 20000 تا 30000	$\sigma_{G_i},\sigma_{F_i},\sigma_{L_i}$=0/75
الکتریکی	0/9	30000 به بالا	$\sigma_{G_i},\sigma_{F_i},\sigma_{L_i}$=0/7

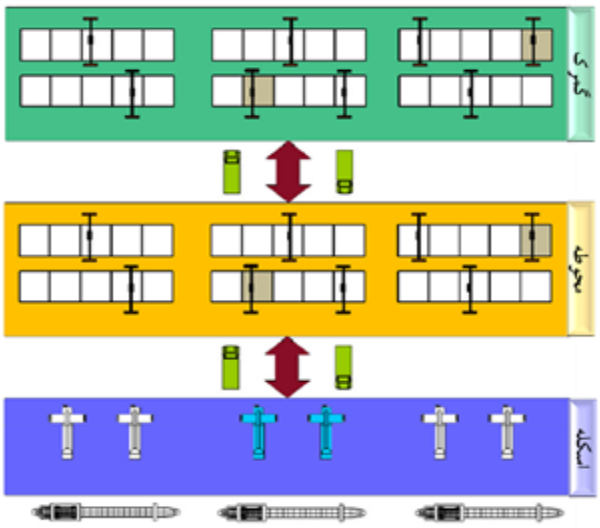
جدول ۱۱ مقایسه بین بندر خروجی الگوریتم را در موارد مختلف نشان می‌دهد و همان‌طور که ملاحظه می‌گردد تمامی مقادیر به‌دست‌آمده در الگوریتم پیشنهادی از مقادیر واقعی بهتر بوده و موجب شده مقدار تابع هدف از ۸۵۰۳۱۳۶ واحد به ۶۰۱۰۷۳۶ واحد کاهش یابد.

جدول ۱۱- مقایسه بندر و الگوریتم پیشنهادی.

Table 11- Compare the port and the proposed algorithm.

مقایسه	هزینه جابجایی افقی			هزینه جابجائی عمودی			تعداد فضای تخصیص داده شده			تعداد ماشین‌آلات			هزینه نگهداری			تعداد جرثقیل‌ها			مقدار تابع هدف
	اسکله	محوطه	گمرک	اسکله	محوطه	گمرک	اسکله	محوطه	گمرک	اسکله	محوطه	گمرک	اسکله	محوطه	گمرک	اسکله	محوطه	گمرک	
بندر شهید رجائی	4$	3$	3$	9$	7$	6$	7	5	4	513	390	376	43$	38$	25$	20	18	16	8503136
الگوریتم پیشنهادی	3$	2$	1/5 $	7$	6/ 5$	5$	5	3	2	457	352	270	33$	28$	24$	14	15	11	6010736

شکلهای **۲۲** الی **۲۴** در سمت راست یکی از قسمت‌های اسکله، گمرک و محوطه‌های واقعی بندر شهید رجایی را در نحوه چیدمان ۲۷ نوع کانتینر را نشان می‌دهد؛ همان‌طور که در شکل مشاهده می‌گردد چیدمان کانتینرها بسیار نامنظم و مقدار تابع هدف بسیار زیاد می‌باشد. **شکل**های **۲۲** الی **۲۴** در سمت چپ همان قسمت‌ها را با همان تعداد و نوع کانتینر که توسط الگوریتم پیشنهادی چیدمان شده است را نشان می‌دهد همان‌طور که در شکل مشاهده می‌گردد چیدمان کانتینرها بسیار منظم گردیده است. همان‌طور که در **شکل ۲۵** مشخص است زمانی را که یك کشتی برای پهلوگیری به‌منظور تخلیه و بارگیری سپری می‌کند، تحت عنوان زمان گردش کشتی مطرح می‌شود. زمان گردش کشتی به‌عنوان یك مشخصه مهم در هزینه حمل‌ونقل کانتینرها شناخته می‌شود و کاهش آن تا کمترین مقدار ممکن، یکی از اولویت‌های اصلی شرکت‌های کشتیرانی و مدیران بنادر می‌باشد. به همین علت نیاز و لزوم ایجاد و توسعه سیستم‌های پهلوگیری و تخصیص کشتی‌ها هرچه بیشتر احساس می‌شود و در تمام جهان گردانندگان پایانه‌ها هرچه بیشتر می‌کوشند تا سرویس بهتر و سریع‌تری به مشتریان خود بدهند. با ایجاد کشتی‌های بزرگ‌تر مشکلاتی نظیر افزایش زمان انجام عملیات، هزینه‌های بالای کارکنان خدماتی، کمبود نیروی انسانی ماهر و افزایش بهره‌وری از زمین‌های در دسترس به وجود آمده است، که تجهیزات مدرن و اتوماسیون عملیات به همین علل در تمام جهان موردتوجه قرار گرفته‌اند. این الگوریتم توانسته است بسیاری از مشکلات ذکرشده را حل نماید.



شکل ۲۵- شکل کلی یک بندر.

Figure 25- The general shape of a port.

۵- نتیجه‌گیری

سه هدف اصلی تحقیق عبارت است از:

- *ارائه روشی برای تخصیص کانتینرها در بنادر به‌منظور ارتقاء بهره‌وری استفاده از بندر.*
- *ارائه یک روش مناسب برای مدیریت کانتینرها جهت کاهش هزینه‌ی تخلیه بار در بنادر.*

با توجه به اهداف اول این تحقیق، این تحقیق در ارتباط با مسئله‌ی چیدمان کانتینرها می‌باشد. در این رابطه، رابطه‌ی مستقیمی بین تخصیص کانتینرها به جرثقیل و سیستم حمل‌ونقل در نظر گرفته‌شده است. چنین رابطه‌ای در عمل با تخصیص کشتی‌ها به جرثقیل نیز وجود دارد. در مسئله‌ی در نظر گرفته‌شده فرض شده است که تخصیص بین جرثقیل و وسایل حمل‌ونقل در مدل موردنظر صورت می‌گیرد. در چنین مواردی تخصیص بهینه‌ی کانتینرها موجب ارتقاء کارایی سیستم بندری و استفاده بهتر از تجهیزات و نیروی انسانی موجود می‌گردد. برای تخصیص کانتینرها در بندر کانتینری به جرثقیل و وسیله حمل در کنار حداقل‌سازی هزینه‌ها مدل ریاضی تحقیق در عملیات ارائه‌شده است که هدف دوم این تحقیق را برآورده می‌سازد. ازآنجایی‌که در رویکرد مدل ریاضی با افزایش سایز مسئله، امکان حل مسئله با روش‌های معمول وجود نخواهد داشت از الگوریتم لوجیک توسعه‌یافته شده، برای حل مسئله با ابعاد بزرگ استفاده‌شده است. با توجه به کیفیت خروجی‌های به‌دست‌آمده توسط این الگوریتم هدف سوم تحقیق که ارائه‌ی روش مناسب است نیز محقق گردیده است.

مستند بر نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش که با استفاده از روش‌های مبتنی بر الگوریتم پیشنهادی و عملگرهای معرفی‌شده، سعی در شناسایی عوامل تأثیرگذار و اثربخشی مؤثر بر تمامی عوامل مرتبط با مدل، جهت بهینه‌سازی مخارج را دارد، استفاده از سایر روش‌های فرا ابتکاری در پژوهش‌های آتی مطلوب‌ترین جهت‌گیری محققین خواهد بود.

منابع

Asadi Lari, M. S., Julay, F., Tavakkoli Moghaddam, R., & Ramzi, J. (2019). Algorithm for solving the problem of allocating marine containers according to capacity and waiting time. *Journal of transportation engineering*, *12*(3), 471-492. (In Persian). https://www.magiran.com/paper/2275355

Abu Aisha, T., Ouhimmou, M., Paquet, M., & Montecinos, J. (2021). Developing the seaport container terminal layout to enhance efficiency of the intermodal transportation system and port operations–case of the Port of Montreal. *Maritime policy & management*, 1-18. https://doi.org/10.1080/03088839.2021.1875140

Do, N. A. D., Nielsen, I. E., Chen, G., & 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*, *242*(2), 285-301.

Frojan, P., Correcher, J. F., Alvarez-Valdes, R., Koulouris, G., & Tamarit, J. M. (2015). The continuous Berth Allocation Problem in a container terminal with multiple quays. *Expert systems with applications*, *42*(21), 7356-7366. Han, X., Gong, X., & Jo, J. (2015). A new continuous berth allocation and quay crane assignment model in container terminal. *Computers & industrial engineering*, *89*, 15-22.

He, J. (2016). Berth allocation and quay crane assignment in a container terminal for the trade-off between time-saving and energy-saving. *Advanced engineering informatics*, *30*(3), 390-405.

Jiang, X. J., & Jin, J. G. (2017). A branch-and-price method for integrated yard crane deployment and container allocation in transshipment yards. *Transportation research Part B: methodological*, *98*, 62-75.

Liu, D., & Yang, H. (2015). Joint slot allocation and dynamic pricing of container sea–rail multimodal transportation. *Journal of traffic and transportation engineering (English Edition)*, *2*(3), 198-208.

Sheng, L., Hongxia, Z., Xisong, D., & Changjian, C. (2016). A heuristic algorithm for container loading of pallets with infill boxes. *European journal of operational research*, *252*(3), 728-736.

Türkoğulları, Y. B., Taşkın, Z. C., Aras, N., & Altınel, İ. K. (2016). Optimal berth allocation, time-variant quay crane assignment and scheduling with crane setups in container terminals. *European journal of operational research*, *254*(3), 985-1001.

Toffolo, T. A., Esprit, E., Wauters, T., & Berghe, G. V. (2017). A two-dimensional heuristic decomposition approach to a three-dimensional multiple container loading problem. *European journal of operational research*, *257*(2), 526-538.

Wang, Y., Jiang, X., Lee, L. H., Chew, E. P., & Tan, K. C. (2017). Tree based searching approaches for integrated vehicle dispatching and container allocation in a transshipment hub. *Expert systems with applications*, *74*, 139-150.

Wang, N., Chang, D., Shi, X., Yuan, J., & Gao, Y. (2019). Analysis and design of typical automated container terminals layout considering carbon emissions. *Sustainability*, *11*(10), 2957.

Wirjodirdjo, B., Budianto, A. G., Pujawan, I. N., & Maflahah, I. (2020, April). Container yard planning layout model considering demand and lost sale container. *Proceedings of the 2020 2nd international conference on management science and industrial engineering* (pp. 314-318). https://doi.org/10.1145/3396743.3396753

Xie, Y., Liang, X., Ma, L., & Yan, H. (2017). Empty container management and coordination in intermodal transport. *European journal of operational research*, *257*(1), 223-232.

Zehendner, E., Feillet, D., & Jaillet, P. (2017). An algorithm with performance guarantee for the online container relocation problem. *European journal of operational research*, *259*(1), 48-62.

Licensee Decisions & Operations Research. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).