

استفاده از الگوریتم علف‌های هرز برای حل مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله به کشتی‌ها در بنادر کانتینری

محمد محمدپور عمران^۱، سید فرزاد حسینی^۲

Omran@iust.ac.ir

۱- محمد محمدپور عمران، استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- سید فرزاد حسینی، دانشجوی دکترای مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران.

چکیده

سرعت حمل و نقل نقش مهمی را در تجارت جهانی دارد از این رو مهم‌ترین هدف پایانه کانتینری افزایش کارایی و کاهش تأخیر در خروج کشتی‌ها از اسکله است. زمان بیکاری یک کشتی به کارایی زمان‌بندی اسکله و چگونگی تخصیص منابع بستگی داشته که مدیریت مطلوب منابع پایانه موجب افزایش کارایی بنادر می‌شود. زمان پهلوگیری کشتی‌ها می‌تواند به عنوان معیار اصلی در جهت افزایش کارایی پایانه‌های کانتینری در نظر گرفته شود. عملیات تخصیص کشتی‌ها به اسکله به عنوان اولین و اصلی‌ترین تصمیم عملیاتی در اکثر پایانه‌های کانتینری شناخته می‌شوند. در این مقاله پس از بررسی مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله به کشتی‌ها، مدل بررسی شده با استفاده از الگوریتم علف‌های هرز حل شده است. در انتها کارایی الگوریتم پیشنهادی با نتایج حاصل از نرم‌افزار تجاری GAMS مقایسه شده و نتایج نشان می‌دهند که الگوریتم پیشنهادی علاوه بر کیفیت بالای نتایج، بخصوص در مسائل با اندازه بزرگ، سرعت حل بسیار بالاتری نسبت به نرم افزار GAMS دارد.

واژگان کلیدی: پایانه‌های کانتینری، مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله، الگوریتم علف‌های هرز.

تاریخ دریافت مقاله : ۹۶/۰۳/۱۶

تاریخ پذیرش مقاله : ۹۶/۰۷/۰۵

۱- مقدمه

سرعت حمل و نقل نقش مهمی را در تجارت جهانی دارد از این رو مهم‌ترین هدف پایانه کانتینری افزایش کارایی و کاهش تأخیر در خروج کشتی‌ها از اسکله است.

زمان بیکاری یک کشتی به کارایی زمان‌بندی اسکله و چگونگی تخصیص منابعی از قبیل پهلوگاه‌های اسکله، جرثقیل‌های اسکله، کامیون‌ها، جرثقیل‌های محوطه، در دسترس بودن انبارها و... بستگی دارد. بنابراین مدیریت مطلوب منابع پایانه موجب افزایش کارایی بنادر شده و زمان پهلوگیری کشتی‌ها می‌تواند به عنوان معیار اصلی در جهت افزایش کارایی پایانه‌های کانتینری در نظر گرفته شود. با تخصیص بهینه فضای اسکله و زمان پهلوگیری کشتی‌ها می‌توان نقشی اساسی در افزایش بهره‌وری بنادر داشت. در ادامه مقاله جهت آشنایی بیشتر با پایانه‌های کانتینری، عملیات پایانه‌های کانتینری تشریح گردیده، سپس مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله و مرور ادبیات مربوطه آورده شده است. پس از معرفی روش بهینه‌سازی علف‌های هرز از آن جهت حل مدل تخصیص پهلوگاه‌های اسکله به کشتی‌ها استفاده گردیده و نتایج محاسباتی و نتیجه‌گیری مقاله هم در انتها آورده شده است.

۲ - عملیات پایانه‌های کانتینری

پایانه‌های کانتینری را می‌توان به پنج ناحیه تقسیم نمود که مسائل بهینه‌سازی هر ناحیه در ادامه تشریح خواهد گردید. این نواحی عبارتند از پهلوگاه‌های اسکله^۳، اسکله^۴، حمل و نقل داخلی^۵، محوطه^۶ و ورودی (دروازه)^۷.

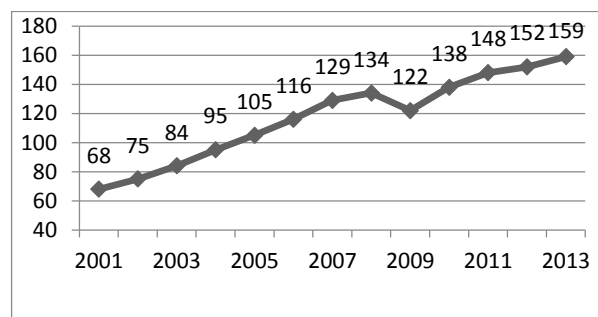
همان‌طور که اشاره شد، هر پایانه کانتینری را می‌توان به پنج قسمت عمده تقسیم کرد که عبارتند از:

- (۱) پهلوگاه اسکله: مکانی که کشتی‌ها در آن جهت عملیات تخلیه و بارگیری پهلوگیری می‌کنند.
- (۲) اسکله: محلی که جرثقیل‌های اسکله در آن حرکت کرده و عملیات تخلیه و بارگیری کشتی‌های کانتینری را انجام می‌دهند.

براساس گزارش World Port Source هم‌اکنون ۴۹۳۶ بندر در ۱۹۶ کشور دنیا وجود دارد [۱]. مرکز مشاوره کلارکسون^۱ عنوان نموده است که نرخ رشد تجارت کانتینری دنیا در طی بیست سال گذشته به طور متوسط ۸٫۹٪ بوده و میزان این تجارت در سال ۲۰۱۳ نسبت به سال ۲۰۱۲ با ۷ میلیون TEU^۲ افزایش به ۱۵۹ میلیون TEU رسیده است [۲].

حمل و نقل دریایی نقش مهمی را در زنجیره تأمین بین‌المللی بازی می‌کند و تأثیر مهمی در اقتصاد جهانی دارد. همچنین زمان‌بندی عملیات بنادر نقشی اساسی را در کارایی حمل و نقل دریایی دارد. پایانه‌های کانتینری محل تقاطع مسیرهای دریایی بوده و تغییر انواع روش‌های حمل و نقل در آن‌ها صورت می‌پذیرد، لذا بهبود کارایی و افزایش بهره‌وری در عملیات پایانه‌های کانتینری نقشی اساسی در کاهش هزینه و زمان کل سفر دریایی دارد [۳].

از مشاهده شکل (۱) می‌توان چنین استنباط نمود که حجم مبادلات کانتینری طی ده سال گذشته به میزان تقریباً دو برابر رشد پیدا کرده که نشان‌دهنده رشد اهمیت روز افزون این حوزه، در طی ده سال گذشته است. این نرخ رشد سبب شده تا خطوط کشتیرانی برای ساخت کشتی‌هایی با ظرفیت بیشتر، جهت حمل و نقل کانتینری اقدام کرده و با توجه به همین امر بنادر نیز جهت توسعه و بهینه‌سازی عملیات صورت گرفته، گام بردارند.



شکل (۱) تجارت جهانی کانتینری (واحد: میلیون TEU).

⁵ Internal Transport

⁶ Yard

⁷ Gate

¹ Clarksons

² Twenty Foot Equivalent Units

³ Berth

⁴ Quay

مسئله تخصیص جرثقیل‌های اسکله به دنبال تخصیص جرثقیل‌های اسکله به کشتی‌ها جهت انجام عملیات تخلیه و بارگیری است. مسئله زمان‌بندی جرثقیل‌های اسکله به دنبال بهینه‌کردن توالی انجام عملیات تخلیه و بارگیری توسط جرثقیل‌های اسکله تخصیص داده شده به کشتی‌ها است. مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله از مهم‌ترین مسائل مورد مطالعه در جانب‌دریا بوده که در ادامه این مقاله مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۳- مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله به کشتی‌ها

همان‌طور که در قسمت قبل اشاره شد این مسئله به دنبال تخصیص کشتی‌های ورودی به پهلوگاه‌های اسکله با توجه به مشخصات اسکله (طول، عمق و...) و مشخصات کشتی (اندازه، عمق و...) است.

مشخصه مکانی مربوط به اسکله بوده و به سه دسته کلی گسسته^۷، پیوسته^۸ و ترکیبی^۹ تقسیم می‌گردد. در حالت گسسته، مکان‌های پهلوگیری کشتی‌ها در اسکله مشخص شده‌اند لذا در هر موقعیت، پهلوگیری تنها یک کشتی امکان‌پذیر خواهد بود؛ اما در حالت پیوسته برای کشتی امکان‌پذیر است تا در هر مکانی از فضای اسکله پهلوگیری کند. در حالت ترکیبی مکان پهلوگیری کشتی‌ها مشخص است (گسسته) اما یک کشتی می‌تواند جهت پهلوگیری، بیش از یک موقعیت را به خود تخصیص دهد یا کشتی‌ها موقعیتی را به اشتراک بگذارند. در حالت ترکیبی هر یک از فضاهای پهلوگیری می‌تواند پیوسته و یا گسسته باشد. مورد دیگری که در رابطه با مشخصه مکانی اسکله‌ها در ادبیات موردنظر قرار گرفته است عمق^{۱۰} اسکله است چراکه اگر عمق اسکله کم باشد محدودیتی جهت پهلوگیری کشتی‌های با عمق بیشتر اعمال خواهد شد.

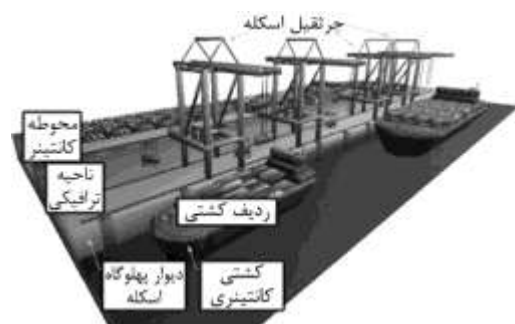
مشخصه زمانی مربوط به زمان ورود، پهلوگیری و خروج کشتی‌ها از اسکله است و به دو دسته کلی ایستا^{۱۱} و پویا^{۱۲} تقسیم می‌گردد. مسئله ایستا اشاره به این موضوع دارد که

(۳) حمل و نقل داخلی: که شامل جابجایی کانتینرها از اسکله به محوطه کانتینری، توسط کامیون‌ها و یا سایر وسایل حمل و نقل است.

(۴) محوطه: که در آن پشته‌سازی^۱ و ذخیره کانتینرها صورت می‌پذیرد.

(۵) دروازه: که ورود و خروج کانتینرها به پایانه کانتینری از این طریق صورت می‌پذیرد. به اسکله و مکان‌های پهلوگیری کشتی‌ها به اصطلاح جانب دریا^۲ گفته و به دروازه و محوطه هم به اصطلاح جانب خشکی^۳ می‌گویند. حمل نقل، این دو قسمت مهم پایانه کانتینری را به هم مرتبط می‌سازد.

شکل (۲) بخش‌های مختلف عملیاتی یک پایانه کانتینری و عملیات تخلیه و بارگیری را در یک پایانه کانتینری نمایش می‌دهد. هنگامی که یک کشتی در اسکله پهلو می‌گیرد یک یا چند جرثقیل اسکله طبق یک برنامه تخلیه، عملیات تخلیه کانتینرها را آغاز می‌کنند. جرثقیل‌ها، کانتینرها را از روی کشتی به روی کامیون‌ها قرار می‌دهند و کامیون‌ها کانتینرها را به محوطه کانتینری انتقال می‌دهند. جرثقیل‌های اسکله به دستگاه‌هایی^۴ مجهزند که می‌توانند کانتینرها را در امتداد بازوی جرثقیل از کشتی به کامیون انتقال دهند. در رابطه با جرثقیل‌های اسکله مسئله تعداد جرثقیل‌های خریداری شده امری راهبردی بوده و از سوی دیگر نحوه تخصیص جرثقیل - های اسکله^۵ و زمان‌بندی جرثقیل‌های اسکله^۶ مسائلی هستند که در سطح عملیاتی مطرح می‌گردند.



شکل (۲) قسمت‌های عمده یک پایانه کانتینری.

⁸ Continues

⁹ Hybrid

¹⁰ Draft

¹¹ Static

¹² Dynamic

¹ Stacking

² Seaside

³ Landside

⁴ Trolleys

⁵ Quay Crane Assignment Problem

⁶ Quay Crane Scheduling Problem

⁷ Discrete

تمام کشتی‌هایی که قرار است به اسکله تخصیص یابند هم اکنون در لنگرگاه حضور دارند و زمان ورود کشتی‌هایی که در یک بازه زمانی مشخص، در آینده به اسکله وارد خواهند شد را مدنظر قرار نمی‌دهد؛ اما در حالت پویا زمان ورود انتظاری^۱ کشتی‌ها در یک دوره زمانی مشخص جهت تخصیص مدنظر قرار می‌گیرد. به سادگی می‌توان فهمید که حالت ایستا وضعیت خاصی از حالت پویاست که در آن زمان ورود انتظاری کشتی‌ها صفر در نظر گرفته شده است. مشخصه زمانی دیگری که در ادبیات مورد استفاده قرار گرفته است زمان ترک^۲ اسکله است که اشاره به این موضوع دارد که کشتی تنها در یک بازه زمانی مشخص قابل خدمت‌دهی است. لازم به ذکر است که در این مقاله نوع اسکله گسسته بوده و مشخصه زمانی مسئله نیز پویاست.

تخصیص پهلوگاه‌های اسکله به مشتریانی صورت می‌پذیرد که جزء مشتریان مرجح^{۱۰} اسکله بوده و جهت ارائه خدمات از اولویت برخوردارند و بعد از حل مدل در سطح بالا تخصیص پهلوگاه‌های اسکله به سایر کشتی‌ها انجام می‌پذیرد. در سطح اول در نظر گرفته شده است که دو نوع مشتریان مرجح در بندر خدمت داده می‌شوند، لذا تابع هدف سطح اول خود دارای دو جزء است. در حل مدل گزارش شده است چنانچه حجم کمتری از مشتریان اسکله مشتریان خاص باشند با انتقال توابع هدف سطح اول به عنوان محدودیت در سطح دوم می‌توان به نتایج بهتری دست یافت و چنانچه درصد بیشتری از مشتریان به سطح اول تعلق داشته باشند تابع هدف سطح دوم را می‌توان به عنوان محدودیت سطح اول در نظر گرفت و به نتایج بهتری رسید [۵].

آرانگو و همکاران^{۱۱} در سال ۲۰۱۱ مطالعه موردی تخصیص پهلوگاه‌های اسکله بندر سویل^{۱۲} اسپانیا را مورد بررسی قرار دادند. این بندر تنها بندر داخلی اسپانیاست و در دهانه رود گوادالکایور^{۱۳} واقع شده است. این مقاله با استفاده از شبیه‌سازی^{۱۴} و بهینه‌سازی^{۱۵} در نرم‌افزار آرنا^{۱۶} مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله به کشتی‌های کانتینری را مورد بررسی قرار داده است. از پیشنهادهایی که در توسعه مقاله از سوی نویسندگان ارائه شده به بهینه‌سازی عملیات بندری که توسط تجهیزاتی از قبیل لیفتراک‌ها^{۱۷} انجام می‌شود و در نظر گرفتن تأثیر این مقوله در کمینه‌کردن تابع هدف این مدل می‌توان اشاره نمود [۶].

بهرکال و همکاران^{۱۸} در سال ۲۰۱۱ سه مدل اصلی ارائه شده در مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله را در حالت گسسته و پویا مقایسه نمودند و کارایی یکی از مدل‌ها را بهبود دادند [۷]. اولین مدل بررسی شده در این مقاله مدل ایمای و

۴- مرور ادبیات مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله

گولیا و همکاران^۳ در سال ۲۰۰۹ مدلی چندهدفه^۴ ارائه دادند که در آن با توجه به توافقات قراردادی از پیش صورت گرفته، نحوه خدمت‌رسانی به مشتریان متفاوت است. برای حل مدل پیشنهادی از الگوریتم ژنتیک^۵ بکار گرفته شده و از داده‌های واقعی برای بررسی کارایی مدل استفاده شده است. برای توسعه مدل گروه‌های متفاوت مشتریان در نظر گرفته شده و زمان خدمت‌رسانی به هر گروه با توجه به قرارداد بسته شده متفاوت است. در پایان عنوان شده است که روش حل ارائه شده با استفاده از مجموعه جواب‌های پارتو^۶ در مقایسه با رویکرد وزن‌دهی^۷ عملکرد بهتری دارد [۴].

ساهریدیس و همکاران^۸ در سال ۲۰۱۰ در مقاله‌ای با استفاده از چارچوب بهینه‌سازی سلسله مراتبی^۹ اهداف متناقض ترخیص کشتی‌ها به اسکله را مدل‌سازی نمودند و با استفاده از الگوریتم ژنتیک مدل مذکور را حل و مجموعه جواب‌های پارتو را استخراج کردند. در سطح اول مسئله،

¹⁰ Preferred
¹¹ Arango et al.
¹² Seville
¹³ Guadalquivir
¹⁴ Simulation
¹⁵ Optimization
¹⁶ Arna
¹⁷ Forklifts
¹⁸ Buhrkal et al.

¹ Expected Arrival Time
² Due
³ Golias et al.
⁴ Multi-Objective
⁵ Genetic Algorithm
⁶ Pareto-Front
⁷ Weighted Approach
⁸ Saharidis et al.
⁹ Hierarchical Optimization Framework

لالا- رویز و همکاران^۸ در سال ۲۰۱۴ از روش الگوریتم ژنتیک مبتنی بر ساختار کروموزومی جایگشتی^۹ برای حل مدل ارائه شده توسط گیلالمباردو و همکاران استفاده کردند. برای بررسی کارایی روش حل ارائه شده از داده‌های واقعی موجود در ادبیات استفاده شده است. نویسندگان عنوان کرده‌اند که روش‌های حل موجود، جواب‌های با کیفیت خوب و بالا را درازای زمان پردازش بالا به دست می‌دهند، حال آن‌که روش حل ارائه شده قادر به تولید جواب‌های با کیفیت بالا در زمانی کوتاه است [۱۲].

بابازاده و همکاران^{۱۰} در سال ۲۰۱۵ از الگوریتم انبوه ذرات برای حل مسئله تخصیص جرثقیل‌های اسکله در حالت پیوسته و پویا استفاده کردند. آن‌ها نتایج بدست آمده از حل مدل را با الگوریتم ژنتیک مقایسه کرده و اعلام نمودند که الگوریتم انبوه ذرات^{۱۱} ارائه شده کارایی بهتری دارد [۱۳]. لیانگ و همکاران^{۱۲} در سال ۲۰۱۱ یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی دو هدفه برای مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله ارائه دادند که در این مدل تخصیص جرثقیل‌های لحاظ شده و زمان عملیات هر کشتی وابسته به تعداد جرثقیل‌های تخصیص داده شده است. تابع هدف اول مدل مجموع زمان‌های تخلیه و بارگیری، زمان انتظار کشتی و تأخیر در جدایی کشتی از اسکله را کمینه می‌کند درحالی‌که تابع هدف دوم به دنبال کمینه‌سازی جابه‌جایی جرثقیل‌ها، بین اسکله‌هاست. برای حل مدل از الگوریتم ژنتیک بهره گرفته شده است [۱۴].

ترک‌اوغلاری و همکاران^{۱۳} مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله را با در نظر گرفتن تخصیص جرثقیل‌ها مدل نمودند. در ادامه مقاله، مدل ارائه شده با مشخص بودن جرثقیل‌های تخصیص‌یافته توسعه داده شده است. تابع هدف مدل‌های ارائه شده کمینه‌کردن مجموع وزنی انحراف از مکان بهینه پهلوگیری، زمان انتظار کشتی‌ها و تأخیر در جدایی از اسکله است. مثال‌های حل شده برای مدل اول بیانگر این امر هستند که مدل خطی ارائه شده برای مسائل در اندازه‌های بزرگ و

همکاران^۱ است که یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط^۲ بوده و در سال ۲۰۰۱ ارائه شده است. در مدل ارائه شده توسط ایمای و همکاران تابع هدف مدل، مجموع زمان انتظار و زمان عملیات تخلیه و بارگیری اسکله را کمینه می‌کند. ایمای و همکاران از الگوریتم آزادسازی لاگرانژ^۳ برای حل مدل فوق بهره جستند و با انجام حجم زیادی از محاسبات عددی اثبات نمودند که مدل مذکور برای حل مسائل دنیای واقعی مناسب است [۸].

کوردیائو و همکاران^۴ در سال ۲۰۰۵ عنوان نمودند که مدل ارائه شده توسط ایمای و همکاران این موضوع را نادیده گرفته است که هر اسکله در مدل ارائه شده باید دارای زمان اتمام عملیات باشد و محدودیت مذکور را به مدل اضافه نمودند [۹]. موناکو و سامارا^۵ در سال ۲۰۰۷ نشان دادند که مدل ارائه شده توسط ایمای و همکاران در سال ۲۰۰۱ را می‌توان با در نظر گرفتن این امر که زمان‌های بیکاری اسکله مستقل از کشتی‌ای است بهبود داد؛ بنابراین اندیس مربوط به کشتی‌ها را می‌توان حذف نمود [۱۰].

گیالومباردو و همکاران^۶ در سال ۲۰۱۰ مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله به کشتی‌ها را با در نظر گرفتن تخصیص جرثقیل‌ها به کشتی‌ها فرموله نمودند. آن‌ها برای تخصیص جرثقیل‌ها به کشتی‌ها از مفهومی تحت عنوان مشخصات جرثقیل‌های اسکله^۷ استفاده کردند. مفهوم ارائه شده بیانگر تعداد جرثقیل‌های تخصیص داده شده به کشتی در هر بازه زمانی است. تعدادی، مشخصات جرثقیل‌های اسکله از پیش تعریف شده وجود دارد و مدل به دنبال تخصیص همزمان اسکله‌ها و جرثقیل‌ها به کشتی‌ها با استفاده از مشخصات جرثقیل‌های اسکله ارائه شده است. تابع هدف مدل، استفاده از حداکثر مشخصات جرثقیل‌های اسکله شده و کمینه‌سازی هزینه حمل‌ونقل کانتینرها از محوطه است. گیلالمباردو و همکاران برای حل مدل ارائه شده از الگوریتم جستجوی ممنوع استفاده کردند [۱۱].

⁸ Lalla-Ruiz et al.

⁹ Biased Random Key Genetic Algorithm

¹⁰ Babazadeh et al.

¹¹ Particle Swarm optimization

¹² Liang et al.

¹³ Turkogullari et al.

¹ Imai et al.

² Mixed Integer Programming

³ Lagrangian Relaxation

⁴ Cordeau et al.

⁵ Monaco and Sammarra

⁶ Giallombardo et al.

⁷ Quay-Crane Profiles

در این مقاله اشاره شده است که مصرف سوخت یک کشتی به‌طور تقریبی با توان سوم سرعت آن در ارتباط است [۱۸]. یک شیوه ماهرانه‌تر پهلوگیری و تنظیم سرعت کشتی‌ها می‌تواند تأثیر قابل توجهی در کاهش هزینه‌ها داشته و مقادیر زیادی از آلودگی گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد. در مدل ارائه شده مسئله تخصیص کشتی‌ها به اسکله‌ها، سرعت کشتی‌ها و تخصیص تجهیزات تخلیه و بارگیری بهینه می‌شوند. تابع هدف مدل ارائه شده کمینه‌سازی هزینه بهره‌برداری از تجهیزات ساحلی، هزینه سوخت، معطلی، کنسلی و بیشینه‌سازی درآمد ناشی از تسریع در عملیات کانتینری را دنبال می‌کند [۱۷].

هان و همکاران^۶ در سال ۲۰۱۰ مدلی را ارائه دادند که در آن ورود کشتی‌ها به‌صورت پویا بوده و کشتی‌های ورودی اولویت‌های متفاوتی دارند و اولویت هر کشتی متناسب با قرارداد اسکله و خط کشتیرانی است. نکته برجسته در این مدل این است که جرثقیل‌ها می‌توانند در هنگام پهلوگیری کشتی جهت انجام عملیات تخلیه و بارگیری از یک کشتی به کشتی دیگر منتقل شوند. جابه‌جایی جرثقیل‌ها با این شرط انجام می‌پذیرد که تعداد جرثقیل‌هایی که به هر کشتی خدمت می‌دهند ثابت بماند. زمان ورود و زمان تخلیه و بارگیری کشتی‌ها تصادفی بوده و از تابع توزیع نرمال پیروی می‌کند. تابع هدف مدل مقدار انتظاری بعلاوه انحراف استاندارد مجموع زمان خدمت‌دهی و مقدار وزن‌دهی شده تأخیر جدایی از اسکله را کمینه می‌کند. یک الگوریتم ابتکاری بر پایه الگوریتم ژنتیک برای حل مدل ارائه گردیده و نتایج محاسباتی کارایی روش حل ارائه شده را تأیید می‌کنند [۱۹].

ژوو و کانگ^۷ در سال ۲۰۰۸ مدلی را ارائه دادند که مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله و جرثقیل به کشتی‌ها را لحاظ می‌کند. در مدل ارائه شده زمان ورود کشتی‌ها و زمان تخلیه و بارگیری هر کشتی از توزیع نرمال پیروی می‌کند. آن‌ها در مدل ارائه شده عمق آب و محدودیت‌های مربوطه را مدنظر قرار دادند. در تابع هدف مدل زمان انتظار کشتی و زمان انتظار جرثقیل‌های اسکله کمینه می‌گردند. در ادامه مقاله

حتی بیش از شصت کشتی کاراست؛ اما برای مدل دوم توسعه داده شده این شرایط برقرار نیست لذا نویسندگان روش فرا-پردازشی^۱ را برای حل مدل دوم توسعه دادند و ضعف محاسباتی مطرح شده را برطرف نمودند [۱۵].

ژانگ و همکاران^۲ در سال ۲۰۱۰ مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله و جرثقیل‌ها به کشتی‌ها را مدل نمودند. آن‌ها اشاره کردند که در مقالاتی که تاکنون چاپ شده است محدوده حرکتی جرثقیل‌ها لحاظ نگردیده و محدودیت‌های مربوط به دامنه فعالیت جرثقیل‌ها دیده نشده است. در ادامه مقاله یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه شده که تابع هدف آن مجموع وزنی زمان عملیات تخلیه و بارگیری، زمان انتظار و انحراف از مکان مطلوب پهلوگیری را کمینه می‌کند. از الگوریتم بهینه‌سازی زیر-گرادیان^۳ برای حل مدل استفاده شده است و عنوان گردیده که روش ارائه شده برای حل مسائل دنیای واقعی کاراست [۱۶].

آلوارز و همکاران^۴ در سال ۲۰۱۰ عنوان کردند که امروزه کشتی‌های کانتینری قرارداد دارند تا با حداکثر سرعت خود سفر کنند درحالی‌که در دسترس بودن اسکله در بندر مقصد را در نظر نمی‌گیرند. سیستم خدمت‌دهی مبتنی بر ورود هم باعث تشدید بیش‌ازپیش این سیاست شده است. این نوع قراردادهای خطوط کشتیرانی و سیاست‌های خدمت‌دهی در اسکله‌ها عوامل اصلی تراکم لنگرگاه‌ها و افزایش مصرف سوخت با عواقب ناسازگار اقتصادی، ایمنی و زیست‌محیطی هستند. در این مقاله خط‌مشی جدیدی برای پهلوگیری کشتی‌ها و قراردادهای خطوط کشتیرانی پیشنهاد شده است. برای بررسی کارایی مدل ارائه شده از روش‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی به‌صورت همزمان بهره گرفته شده است. در مدل شبیه‌سازی رویداد گسسته^۵، کشتی‌ها و مشخصات اصلی فیزیکی و اقتصادی آن‌ها، چیدمان پایانه کانتینری، کارایی تجهیزات ساحلی، توافقات قراردادی، جریمه‌های مربوطه و سیاست‌های پهلوگیری مدنظر قرار گرفته‌اند. مسئله شبیه‌سازی چندین مثال از مدل بهینه‌سازی را حل می‌کند تا فرآیند برنامه‌ریزی فعالیت‌ها در پایانه را نشان دهد [۱۷].

⁵ Discrete Event Simulation Model

⁶ Han et al.

⁷ Zhou and Kang

¹ Post-Processing

² Zhang et al.

³ Sub-Gradient Optimization Algorithm

⁴ Alvarez et al.

برای حل مدل از الگوریتم ژنتیک استفاده گردیده و نتایج محاسباتی ارائه شده حکایت از کارایی مدل مذکور دارند [۲۰].

۵- مدل ریاضی

مدل ریاضی بکار گرفته شده در این مقاله همان مدل ارائه شده توسط ایمای و همکاران در سال ۲۰۰۱ است که در قسمت مرور ادبیات به آن اشاره گردید. متغیرهای تصمیم، پارامترها، مجموعه‌ها و مدل ریاضی در ادامه آورده شده است.

متغیرهای تصمیم ارائه شده در مدل به شرح ذیل هستند:

X_{ijk} چنانچه کشتی j به عنوان k امین کشتی در اسکله i سرویس داده شود ۱ و در غیراینصورت ۰ خواهد شد.

Y_{ijk} زمان بیکاری اسکله i بین خروج کشتی $k-1$ و ورود کشتی k ام هنگامی که کشتی j به عنوان k امین کشتی خدمت داده می‌شود.

مدل ریاضی ارائه شده توسط ایمای و همکاران در ذیل آورده شده است:

$$\text{Min} : \sum_{i \in B} \sum_{j \in V} \sum_{k \in O} \{ (T - k + 1) C_{ij} + S_i - A_j \} X_{ijk} \quad (1)$$

$$+ \sum_{i \in B} \sum_{j \in W_i} \sum_{k \in O} (T - k + 1) y_{ijk}$$

$$\sum_{i \in B} \sum_{j \in V} X_{ijk} = 1 \quad j \in V \quad (2)$$

$$\sum_{j \in V} X_{ijk} \leq 1 \quad i \in B \quad k \in O \quad (3)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{m \in P_k} (C_{im} x_{ilm} + y_{ilm}) + y_{ijk} - (A_j - S_i) x_{ijk} \geq 0 \quad (4)$$

$$i \in B \quad j \in W_i \quad k \in O \quad (5)$$

$$X_{ijk} \in \{0, 1\} \quad i \in B \quad j \in V \quad k \in O \quad (6)$$

$$y_{ijk} \geq 0 \quad i \in B \quad j \in V \quad k \in O \quad (7)$$

به طوری که:

$i (i = 1, 2, \dots, I) \in B$ مجموعه اسکله‌ها

$j (j = 1, 2, \dots, T) \in V$ مجموعه کشتی‌ها

مجموعه ترتیب

$k (k = 1, 2, \dots, T) \in O$ تخصیص کشتی‌ها

S_i زمانی که اسکله i جهت سرویس‌دهی در دسترس قرار می‌گیرد

A_j زمان ورود کشتی j

C_{ij} زمانی که جهت عملیات تخلیه و بارگیری توسط کشتی j در اسکله i سپری می‌شود

P_k زیرمجموعه‌ای از O به گونه‌ای که $P_k = \{p \mid p < k \in O\}$

W_i زیرمجموعه‌ای از کشتی‌ها به گونه‌ای که $A \geq S_i$

در این مدل تابع هدف (۱) مجموع زمان انتظار و زمان عملیات تخلیه و بارگیری اسکله را کمینه کرده، محدودیت (۲) تضمین می‌کند که به هر کشتی در اسکله حتما سرویس داده شود. محدودیت (۳) اشاره به این امر دارد که هر اسکله در هر ترتیب سرویس‌دهی باید به حداکثر یک کشتی اختصاص یابد. محدودیت (۴) بیان می‌کند که زمان سرویس‌دهی به کشتی باید بعد از زمان ورود آن باشد. محدودیت های (۵)، (۶) و (۷) هم نوع متغیرهای تصمیم مدل را مشخص می‌کنند.

۶- الگوریتم علف‌های هرز ارائه شده برای حل مدل

ریاضی:

در سال ۲۰۰۶ میلادی، محرابیان و لوکاس^۱ الگوریتم تکاملی جدیدی را با الهام از یک پدیده شایع در کشاورزی به نام کلونیزاسیون علف‌های هرز مهاجم^۲ برای حل مسائل تحقیق در عملیات در حالت پیوسته ارائه دادند. آنها این الگوریتم را بهینه‌سازی علف‌های هرز (IWO)^۳ نام نهادند [۲۱]. الگوریتم علف‌های هرز یک الگوریتم ساده است که با بکارگیری خصوصیات اساسی مانند تکثیر، رشد و رقابت در یک کلنی علف هرز عمل می‌کند. در این پژوهش از نسخه جدیدی از الگوریتم علف‌های هرز برای حل این مسئله به صورت فضای گسسته تدوین شده است. جزئیات این فرآیند در ادامه آمده است:

۶-۱- جمعیت اولیه

جمعیتی از جواب‌های اولیه بصورت تصادفی روی فضای حل مسئله پخش می‌شود.

³ Invasive Weed Optimization

¹ Mehrabian and Lucas

² Colonization of Invasive Weeds

۶-۲- تکثیر

تعداد گیاهان در کلنی محدود است. بعد از چند تکرار، تعداد گیاهان در کلنی بیشتر از حداکثر تعداد گیاهان در کلنی (p_{max}) می‌شود، حال مکانیسم حذف گیاهان با شایستگی کمتر فعال می‌شود.

مکانیسم حذف به این صورت کار می‌کند: هر گیاه طبق مکانیسم تولید دانه اشاره شده به تولید دانه می‌پردازد. دانه‌های تولید شده نیز طبق مکانیسم گفته شده پخش شده و رشد می‌کنند. حال این گیاهان هم رده والدینشان می‌باشند. سپس گیاهان با شایستگی کمتر حذف می‌شوند تا تعداد گیاهان به حداکثر تعداد ممکن در کلنی برسند. همانطور که در قسمت تکثیر اشاره شد، این مکانیسم به گیاهان با شایستگی پایین اجازه تکثیر را می‌دهد و اگر آن‌ها دارای شایستگی خوبی باشند می‌توانند زنده بمانند.

۶-۵- ساختار الگوریتم

پارامترهای الگوریتم پیشنهادی در جدول (۱) آورده شده است. الگوریتم شامل ۲ فاز است که فاز ۱، تا رسیدن جمعیت به p_{max} ادامه می‌یابد. سپس وارد فاز ۲ می‌شویم تا الگوریتم پایان یابد. شکل (۵) رویه این الگوریتم را نشان می‌دهد.

جدول (۱) پارامترهای الگوریتم علف‌های هرز گسسته.

تعریف	نماد
تعداد جمعیت اولیه	N_0
حداکثر تعداد تکرار	it_{max}
حداکثر تعداد جمعیت گیاهان	p_{max}
حداکثر تعداد دانه	s_{max}
حداقل تعداد دانه	s_{min}
شاخص تلفیق غیرخطی	N
تعداد اولیه حداکثر بکارگیری عملگرها	$\sigma_{initial}$
تعداد نهایی حداکثر بکارگیری عملگرها	σ_{final}

۷- نتایج محاسباتی

برای بررسی الگوریتم پیشنهادی، ۸ مسئله آزمایشی مطابق داده‌های تصادفی تولید شده مرجع [۱۰]، در ابعاد مختلف تولید شده و عملکرد آن با حل‌کننده^۲ CPLEX کد نویسی شده در نرم‌افزار تجاری GAMS مقایسه شده است. مسائل

عضوی از جمعیت گیاهان با توجه به مقدار شایستگی خود و کمترین و بیشترین مقدار شایستگی کلنی مجاز به تولید دانه (تکثیر) است. تعداد دانه‌هایی که هر گیاه می‌تواند تولید کند بصورت خطی از کمترین تعداد ممکن تولید دانه تا بیشترین تعداد ممکن تولید دانه افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، هر گیاه بر اساس مقدار شایستگی خودش، کمترین مقدار شایستگی کلنی و بیشترین مقدار شایستگی کلنی تولید دانه می‌کند تا اطمینان حاصل شود که افزایش تعداد تولید دانه بصورت خطی باشد.

۶-۳- پراکندگی فضایی

در این بخش تصادفی‌سازی و تطابق الگوریتم ارائه می‌شود. دانه‌های تولید شده بصورت تصادفی در فضای ناحیه جستجو با استفاده چند باره از عملگرهای جابجایی و جاسازی پخش می‌شوند. به عبارت دیگر، دانه‌ها بصورت تصادفی در نزدیکی گیاه والد ساکن می‌شوند. در هر گام (نسل) تعداد عملگرها (σ) از مقدار اولیه معین شده تا رسیدن به مقدار نهایی معین شده کاهش می‌یابد. با انجام شبیه‌سازی‌های مختلف که روی الگوریتم پایه انجام شده است، تغییر غیر خطی داده شده در معادله (۸) عملکرد رضایت‌بخشی را نشان داده است.

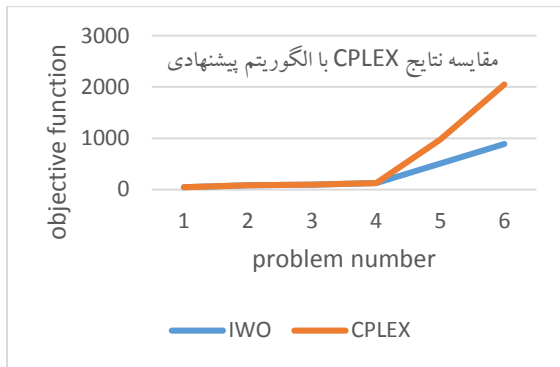
$$\sigma_{iter} = \text{round} \left(\sigma_{final} + \left(\frac{iter_{max} - iter}{iter_{max}} \right)^n \times (\sigma_{initial} - \sigma_{final}) \right) \quad (8)$$

بطوری که $iter_{max}$ حداکثر تعداد تکرار، σ_{iter} انحراف معیار در تکرار کنونی و n شاخص تلفیق غیرخطی^۱ است. این تغییر تضمین می‌کند که در هر گام احتمال قرار گرفتن دانه در فاصله دور بصورت غیر خطی کاهش یابد. به عبارتی گیاهان طی هر تکرار با محیط سازگارتر شده و نیروی انتخاب محیط از انتخاب r به سوی انتخاب k پیش می‌رود.

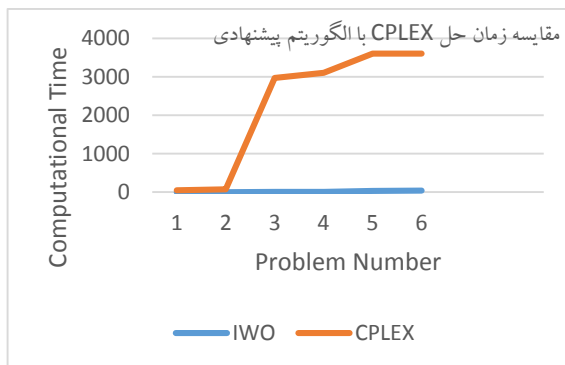
۶-۴- حذف رقابتی

اگر گیاهی هیچ دانه‌ای تولید نکند، ممکن است منقرض شود؛ در غیر این صورت ممکن است در سراسر جهان پخش شود. بنابراین نیاز به نوعی رقابت بین گیاهان است زیرا حداکثر

² Solver¹ Nonlinear Modulation Index



شکل (۳) مقایسه تابع هدف CPLEX با الگوریتم پیشنهادی.



شکل (۴) مقایسه زمان حل CPLEX با الگوریتم پیشنهادی.

در ادامه نتیجه گیری کلی در رابطه با این مقاله آورده شده و راهکارهایی برای کاربرد این رویکرد در بنادر کشور ارائه شده است.

۸- نتیجه‌گیری

این پژوهش ابتدا به تشریح و بررسی مسئله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله به کشتی‌ها در بنادر کانتینری پرداخت. یک مدل معروف بر اساس مطالعات گذشته انتخاب و ارائه شده است. مدل مورد نظر با حل‌کننده CPLEX و الگوریتم پیشنهادی علف‌های هرز گسسته حل شد. مقایسه‌های مربوط به کارایی روش حل ارائه شده در جدول (۲) و شکل (۳) آورده شد. نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی برای مسائل کوچک عملکردی به خوبی حل‌کننده CPLEX دارد و در مسائل متوسط و بزرگ کاملاً برتر از حل‌کننده CPLEX است. مقایسه مربوط به زمان حل این دو روش نیز در شکل (۴) و جدول (۲) آورده شده است. از نظر زمان حل الگوریتم پیشنهادی کاملاً برتر از حل‌کننده CPLEX عمل می‌کند.

ارائه شده جهت بررسی کارایی مدل را می‌توان به چهار دسته تقسیم نمود. در دسته اول ۲۰ کشتی با ۳ پهلوگاه اسکله، در دسته دوم ۲۵ کشتی با ۵ پهلوگاه اسکله، در دسته سوم ۲۵ کشتی با ۷ پهلوگاه اسکله و در در دسته آخر ۳۵ کشتی با ۷ پهلوگاه اسکله مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برای هر یک از دسته‌ها دو مثال تصادفی تولید شده است. جزئیات مربوط به این مسائل در جدول (۲) آورده شده است.

تمام محاسبات و کدنویسی در محیط نرم‌افزار Matlab 7.1 و در رایانه قابل حمل Think Pad Lenovo مجهز به پردازنده 2.2 GHz Pentium(R) Dual-Core با دو گیگابایت رم اجرا شده است.

جدول (۲) خلاصه نتایج بدست آمده از مسئله‌ها را نشان می‌دهد. بهترین، میانگین و بدترین جواب و میانگین زمان حل حاصله از ۲۰ بار اجرای الگوریتم علف‌های هرز گسسته در این جدول گزارش شده است. برای حل دقیق مسئله از حل‌کننده CPLEX 10.0.1 استفاده شده است. محدودیت زمان حل برای هر مسئله یک ساعت یا ۳۶۰۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. جواب و زمان حل بدست آمده از حل‌کننده CPLEX برای هر مسئله نیز در جدول (۲) آمده است. حل‌کننده CPLEX تنها توانست مسئله ۱ تا ۴ را در محدودیت زمانی مذکور حل کند. حل‌کننده نتوانست هیچ جواب شدنی در این محدودیت زمانی برای مسائل ۷ و ۸ پیدا کند. بهترین جواب بدست آمده در محدودیت زمانی برای مسئله‌های ۱ تا ۸ در جدول (۲) آمده است.

همان طور که در شکل (۳) مشاهده می‌گردد الگوریتم پیشنهادی برای ۴ مسئله اول به جواب بهینه CPLEX رسیده است. اما برای مسائل ۵ و ۶ شاهد عملکرد بهتر الگوریتم پیشنهادی نسبت به CPLEX هستیم و برای مسائل ۷ و ۸، CPLEX قادر به حل مسائل در محدوده زمانی تعیین شده نبود. برای مقایسه زمان حل این دو روش نمودار شکل (۴) در ادامه آورده شده است.

در شکل (۴) نتایج تنها برای مسائلی آورده شده است که با محدودیت زمانی ۳۶۰۰ ثانیه توسط CPLEX حل شده‌اند. اختلاف آشکار بین این دو الگوریتم را می‌توان از بررسی زمان حل مسائل ۳ و ۴ در شکل (۴) مد نظر قرار داد. در حالی که CPLEX برای حل مسائل ۵ و ۶ زمان بسیار زیادی را صرف نموده است، مدل ارائه شده در زمان بسیار کمی به جواب بهتری نسبت به CPLEX دست یافته است.

<p>تنظیم پارامترهای الگوریتم علف‌های هرز گسسته ($N_0, it_{max}, P_{max}, S_{min}, S_{max}, \sigma_{final}, \sigma_{initial}$) تولید جواب‌های تصادفی به اندازه N_0؛ Iter = 0 فاز یک: تکرار (جمعیت کلنی $< P_{max}$ یا it_{max}) ۱- محاسبه حداقل (Fit_{min}) و حداکثر (Fit_{max}) شایستگی کلنی؛ ۲- محاسبه تعداد دانه هر گیاه؛ ۳- محاسبه σ_{iter} با استفاده از رابطه (۷)؛ ۴- تکرار (برای هر دانه) أ. $X =$ والد دانه ب. $\sigma =$ عدد تصادفی صحیح بین σ_{final} و σ_{iter} ج. تکرار (به تعداد σ) د. $r =$ عدد تصادفی بین صفر و یک • اگر $r < 0.5$ $Y =$ تولید یک جواب همسایه با مکانیسم جابجایی از X؛ در غیر این صورت $Y =$ تولید یک جواب همسایه با مکانیسم جاسازی از X؛ پایان اگر؛ • $Y = X$ د. اضافه کردن X به کلنی ۵- $Iter = Iter + 1$ پایان تکرار؛ فاز دو: تکرار ($Iter < it_{max}$) ۱- انتخاب بهترین گیاهان به اندازه P_{max} از بین والدین و فرزندان (طبق مکانیسم حذف رقابت) ۲- محاسبه حداقل (Fit_{min}) و حداکثر (Fit_{max}) شایستگی کلنی؛ ۳- محاسبه تعداد دانه هر گیاه؛ ۴- محاسبه σ_{iter} با استفاده از رابطه (۷)؛ ۵- تکرار (برای هر دانه) أ. $X =$ والد دانه ب. $\sigma =$ عدد تصادفی صحیح بین σ_{final} و σ_{iter} ج. تکرار (به تعداد σ) د. $r =$ عدد تصادفی بین صفر و یک • اگر $r < 0.5$ $Y =$ تولید یک جواب همسایه با مکانیسم جابجایی از X؛ در غیر این صورت $Y =$ تولید یک جواب همسایه با مکانیسم جاسازی از X؛ پایان اگر؛ • $Y = X$ د. اضافه کردن X به کلنی ۶- $Iter = Iter + 1$ پایان تکرار؛</p>

شکل (۵) شبه کد الگوریتم علف‌های هرز گسسته.

یکی از مواردی که برای تحقیقات آبی می‌توان در نظر گرفت بکارگیری سایر الگوریتم‌های فرا ابتکاری نظیر الگوریتم رقابت استعماری، الگوریتم جهش قورباغه و یا هوش ازدحامی و... برای حل مسئله تخصیص پهلوگاه اسکله به کشتی‌هاست. مورد دیگری که جهت توسعه این مقاله می‌توان مد نظر قرار داد بکارگیری الگوریتم پیشنهادی برای حل مسئله تخصیص پهلوگاه اسکله با داده‌های واقعی است. به عنوان مثال بندر شهید رجایی واقع در جنوب ایران که مهم‌ترین بندر واردات و صادرات کشور

است دارای دو پایانه کانتینری فعال است. این پایانه‌های کانتینری از نوع گسسته و پویا بوده و به ترتیب دارای ۴ و ۳ پهلوگاه اسکله هستند. یکی از راهکارهای توسعه این مقاله می‌تواند بکارگیری مدل و الگوریتم علف‌های هرز پیشنهادی برای بهینه‌سازی عملیات این پایانه‌های کانتینری باشد. از دیگر مواردی که می‌توان برای توسعه این مدل در نظر گرفت به در نظر گرفتن تأثیر تخصیص جرثقیل‌های اسکله در بهینه‌سازی عملیات کانتینری، در مدل مذکور می‌توان اشاره نمود.

جدول (۲) نتایج محاسباتی مسئله‌های آزمایشی*.

روش حل	مسئله اندازه مسئله	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
الگوریتم پیشنهادی	بهترین جواب	۴۷	۸۵	۹۳	۱۲۴	۵۰۸	۸۸۶	۱۹۵۷	۳۵×۱۰
	میانگین جواب	۴۷	۸۵	۹۳	۱۲۴	۵۱۲٫۷	۸۹۷٫۳	۲۰۴۷٫۹	۳۵×۱۰
	بدترین جواب	۴۷	۸۵	۹۳	۱۲۴	۵۳۲	۹۰۸	۲۱۶۵	۳۵×۱۰
CPLEX	میانگین زمان حل	۱٫۷۹	۱٫۸۳	۴٫۵۴	۵٫۰۱	۳۴٫۷۸	۴۰٫۸۴	-	-
	جواب	۴۷	۸۵	۹۳	۱۲۴	۹۷۶	۲۰۴۷	-	-
	زمان حل	۵۱٫۵	۷۴٫۹	۲۹۷۴	۳۱۰۴	۳۶۰۰	۳۶۰۰	۳۶۰۰	۳۶۰۰

*عدد پرننگ نشان می‌دهد که روش مربوطه بهترین جواب شناخته شده را یافته است

۸- مراجع

- Transportation science*, Vol.39, pp.526-538, 2005.
- [10] Monaco, M. F. and Sammarra, M., "The Berth Allocation Problem: a Strong Formulation Solved by a Lagrangean Approach," *Transportation Science*, Vol.41, pp.265-280, 2007.
- [11] Giallombardo, G., Moccia, L., Salani, M., and Vacca, I., "Modeling and Solving the Tactical Berth Allocation Problem," *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol.44, pp.232-245, 2010.
- [12] Lalla-Ruiz E., González-Velarde J. L., , and Melián-Batista, B. J., Moreno-Vega M., "Biased Random Key Genetic Algorithm for the Tactical Berth Allocation Problem," *Applied Soft Computing*, Vol.22, pp.60-76, 2014.
- [13] Babazadeh, A., Shahbandi, M. G., Seyedalizadeh-Ganji S., and Joharianzadeh, M., "A PSO Algorithm for Continuous Berth Allocation Problem," *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, Vol.7, pp.479-493, 2015.
- [14] Liang, C., Guo, J., and Yang, Y., "Multi-Objective Hybrid Genetic Algorithm for Quay crane dynamic assignment in berth allocation planning," *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 22, pp.471-479, 2011.
- [15] Türkoğulları, Y. B., Taşkın, Z. C., Aras, N., and Altinel, İ. K., "Optimal Berth Allocation and Time-Invariant Quay Crane Assignment in Container Terminals," *European Journal of Operational Research*, 2013.
- [16] Zhang, C., Zheng, L., Zhang, Z., Shi, L., and Armstrong, A. J., "The Allocation of Berths and Quay Cranes by Using a Sub-Gradient Optimization Technique," *Computers & Industrial Engineering*, Vol.58, pp.40-50, 2010.
- [17] Alvarez, J. F., Longva, T., and Engebretsen, E. S., "A Methodology to Assess Vessel Berthing and Speed Optimization Policies," *Maritime*
- [1] Source, W. P., *World Port*, (2014, 30 Jul) Available: <http://www.worldportsource.com/>
- [2] Clarksons, *Annual trade in containers (teu)*, (2014, 30 Jul), Available: <http://www.clarksons.com/>
- [3] Imai, A., Nishimura, E., Hattori, M., and Papadimitriou, S., "Berth allocation at indented berths for mega-containerships," *European Journal of Operational Research*, Vol.179, pp.579-593, 2007.
- [4] Golias, M. M., Boile, M. and Theofanis, S., "Berth Scheduling by Customer Service Differentiation: A Multi-Objective Approach" *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol.45, pp.878-892, 2009.
- [5] Saharidis, G., Golias, M., Boile, M., Theofanis, S., and Ierapetritou, M., "The Berth Scheduling Problem with Customer Differentiation: a New Methodological Approach based on Hierarchical Optimization," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.46, pp.377-393, 2010.
- [6] Arango, C., Cortés, P., Muñozuri J., and L. Onieva, "Berth Allocation Planning in Seville Inland Port by Simulation and Optimisation," *Advanced Engineering Informatics*, Vol.25, pp.452-461, 2011.
- [7] Buhrkal, K., Zuglian, S., Ropke, S., Larsen, J., and Lusby, R., "Models for the Discrete Berth Allocation Problem: a Computational Comparison," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol.47, pp.461-473, 2011.
- [8] Imai, A., Nishimura, E. and Papadimitriou, S., "The Dynamic Berth Allocation Problem for a Container port," *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol.35, pp.401-417, 2001.
- [9] Cordeau, J. F., Laporte, G., Legato, P., and Moccia, L., "Models and Tabu Search Heuristics for the Berth-Allocation Problem,"

-
- Economics & Logistics*, Vol.12, pp.327-346, 2010.
- [18] Alderton, P. M., *Reeds sea transport: operation and economics*: A&C Black, 2004.
- [19] Han, X. l., Lu, Z. q., and Xi, L.f., "A Proactive Approach for Simultaneous Berth and Quay Crane Scheduling Problem with Stochastic Arrival and Handling Time," *European Journal of Operational Research*, Vol.207, pp.1327-1340, 2010.
- [20] Zhou P. F. and Kang H. G., "Study on Berth and Quay-Crane Allocation under Stochastic Environments in Container Terminal," *Systems Engineering-Theory & Practice*, Vol.28, pp.161-169, 2008.
- [21] Mehrabian, A. R. and Lucas, C., "A Novel Numerical Optimization Algorithm Inspired from Weed Colonization," *Ecological informatics*, Vol.1, pp.355-366, 2006.