

## حل مساله تخصیص اسکله‌ها با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی واکنش شیمیایی بهبود یافته

محمد سرایی<sup>۱\*</sup>، پروانه منصوری<sup>۲</sup>

۱- کارشناسی ارشد، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

۲- دکتری، علوم کامپیوتر، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

رسید مقاله: ۲۹ شهریور ۱۳۹۸

پذیرش مقاله: ۱۶ شهریور ۱۳۹۹

### چکیده

پایانه‌های کانتینری مکان‌هایی هستند که، محموله‌ها با استفاده از تجهیزات خاص از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر منتقل می‌شوند. یکی از مهم‌ترین مسایل در برنامه‌ریزی عملیات ساحلی در پایانه‌های کانتینری، مساله برنامه‌ریزی پهلوگاه یا اسکله است، که تأثیر به‌سزایی در برنامه‌های جرقیل‌ها، محوطه، انبار و مسیریابی کامیون‌ها دارد. این پژوهش شامل یک مدل برنامه‌ریزی پهلوگاه، با رویکرد برنامه‌ریزی هم‌زمان چند اسکله در یک بندر می‌باشد. برای حل این مدل، از الگوریتم بهبود یافته واکنش شیمیایی استفاده شده است. الگوریتم CRO، یک الگوریتم موثر برای جستجو راه حل‌های بهینه یا نزدیک بهینه است. این الگوریتم دارای جمعیت متغیر است که گاهی الگوریتم را کند کرده و یا برخی عملگرهایش را غیرقابل استفاده می‌نماید. در این پژوهش تلاش شده تا جمعیت الگوریتم در بازه مناسبی حفظ شود. برای ارزیابی روش پیشنهادی، نتایج زمان‌بندی حاصل از روش پیشنهادی را با سه الگوریتم DE، GA و PSO بررسی می‌کنیم. با کاهش انتظار کشتی‌ها بندر مورد نظر می‌تواند با افزایش جلب رضایت شرکت‌های کشتیرانی در رقابت با بنادر، موفق‌تر عمل نموده و بهره‌وری و سوددهی بالاتری داشته باشد.

**کلمات کلیدی:** پایانه‌های کانتینری، برنامه‌ریزی پهلوگاه، تخصیص اسکله، الگوریتم واکنش شیمیایی.

### ۱ مقدمه

بهره‌گیری از فنون و تکنولوژی‌های نوین در بنادر تجاری بزرگ دنیا در چند دهه اخیر ثمرات بسیاری را به ارمغان آورده است. بنادر به لحاظ نقش اساسی خود در زنجیره تامین، همواره مورد توجه بوده‌اند. افزایش سرعت و کاهش زمان انجام عملیات بندری و دریایی، از مشخصه‌های مهم بنادر توسعه یافته و طراز اول جهان است [۱]. با توجه به محدودیت فضای اسکله‌ها و تعداد روزافزون کشتی‌های وارد شده به اسکله و با توجه به هزینه بالای توقف کشتی‌ها جهت دریافت سرویس تخلیه و یا بارگیری، استفاده از روشی با ایجاد کم‌ترین تاخیر ممکن

\* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: mohammadsaraei@gmail.com

مي‌تواند در اين زمينه راهگشا باشد. حمل و نقل دريائي نقش مهمي را در زنجيره تأمين بين المللي بازي مي‌كند و تأثير مهمي در اقتصاد جهاني دارد. سرعت حمل و نقل نقش مهمي را در تجارت جهاني دارد. از اين رو مهم‌ترين هدف پاينه كانتيني افزايش كارايي و كاهش تأخير در خروج كشتي‌ها از اسكله است. زمان بيكاري يك كشتي به كارايي زمان‌بندي اسكله و چگونگي تخصيص منابعي از قبيل پهلوگاه‌هاي اسكله، جرثقي‌هاي اسكله، كاميون‌ها، جرثقي‌هاي محوطه، دردسترس بودن آن‌ها و... بستگي دارد. بنابر اين مديريت مطلوب منابع پاينه موجب افزايش كارايي بنادر شده و زمان پهلوگيري كشتي‌ها مي‌تواند به عنوان معيار اصلي در جهت افزايش كارايي پاينه‌هاي كانتيني در نظر گرفته شود. بنابر اين مساله تخصيص اسكله‌ها كه به منظور انجام عمليات تخليه و بارگيري استفاده مي‌شود به دنبال تخصيص كشتي‌ها به اسكله‌ها با توجه به مشخصات كشتي و اسكله مي‌باشد. بنابر اين در اين مساله با توجه به فضاي بزرگ مساله استفاده از الگوريتم‌هاي جستجو و بهينه‌سازي روشي مناسب در برخورد با مساله زمان‌بندي اسكله مي‌باشد. در كشور ايران نيز با توجه به وسعت درياها و وجود بنادر مختلف بخش قابل توجهي از صنعت حمل و نقل توسط بنادر و پاينه‌هاي كانتيني صورت مي‌پذيرد. بنابر اين پژوهش‌هاي بسياري در حيطه افزايش كارايي در زمينه‌هاي مختلف بنادر و همچنين در برنامه‌ريزي و زمان‌بندي پهلوگاه صورت پذيرفته است. محمدپور و همكاران [۲] براي زمان‌بندي اسكله با در نظر گرفتن زمان‌بندي جرثقي‌ها و وسايل حمل و نقل از يك مدل خطي صحيح مختلط بهره بردند. آنها پاسخ‌هاي ممكن را با استفاده از يك آرايه چند بعدي با ابعاد اسكله‌ها و كشتي‌هاي تخصيص داده شده و همچنين آرايه تك بعدي كه هر درايه نشانگر يك كشتي و مقدار درايه نشانگر تعداد جرثقي مي‌باشد، مدل نمودند. داداشي و همكاران [۳] در پژوهشي يك مدل رياضي خطي صحيح مختلط به منظور برنامه‌ريزي پهلوگاه با رويكرد مركب و با زمان ورود ديناميك كه قادر به برنامه‌ريزي هم زمان چند پاينه در يك بندر مي‌باشد، پيشنهاده نمودند. ارزيايي مدل پيشنهاده نشانگر كاهش چشمگير تاخير بود. جمشيد و يزداني [۴] در پژوهشي، تخصيص اسكله به كشتي را براي اولين بار با هدف حداقل كردن هم‌زمان هزينه جا به جايي كانتيني‌ها و زمان انتظار كشتي‌ها در بندر با توجه به مطابقت عمق كشتي با عمق آب پهلوگاه و تطابق طول كشتي با طول پهلوگاه در نظر گرفتند و سپس مدل رياضي جديدي ارايه نموده و براي يافتن جواب بهينه مساله، از الگوريتم فراابتكاري ژنتيك بهره گرفتند. محمدپور و حسيني [۵] مساله تخصيص پهلوگاه‌هاي اسكله به كشتي‌ها را بررسي و مدل بررسي کرده را با استفاده از الگوريتم علف‌هاي هرز حل نمود. در انتها كارايي الگوريتم پيشنهاده با نتايج حاصل از نرم‌افزار تجاري GAMS مقايسه شده و نتايج نشان داد كه الگوريتم پيشنهاده علاوه بر كيفيت بالاي نتايج، به‌خصوص در مسايل با اندازه بزرگ، سرعت حل بسيار بالاتري نسبت به نرم‌افزار GAMS دارد. محرمي [۶] در پژوهشي مساله تخصيص پيوسته و پويائي اسكله با هدف به حداقل رساندن مجموعه زمان شناوري وزن دار را مورد مطالعه قرار داد. محرمي در اين پژوهش يك روش كارا را براي موقعيت‌دهي كشتي‌هاي بعدي كه وارد اسكله مي‌شوند به كمك نمودار زمان فضا مدل‌سازي کرده است و سپس به كمك الگوريتم فراابتكاري به جستجوي جواب بهينه پرداخته است. پارامترهاي تأثيرگذار بر عملکرد الگوريتم‌هاي فراابتكاري ژنتيك و رقابت استعماري با به‌كارگيري روش RSM تنظيم شده است. نهايتاً كارايي اين دو الگوريتم در حل مثال‌هاي عددي مقايسه شده است.

دویدویک و کوردیک [۷] در سال ۲۰۱۶ در پژوهشی جهت حل مساله تخصیص اسکله با رویکرد گسسته از الگوریتمی با عنوان رسوب بهره بردند که اولین الگوریتم ترکیبی دقیق در راستای حل این مساله بود. تینگ و همکاران [۸] در سال ۲۰۱۴ در پژوهشی به حل مساله تخصیص اسکله پرداختند. هدف آنها به حداقل رساندن زمان سرویس دهی به کشتی ها بود. رویکرد آنها در حل مساله، تخصیص گسسته پویا بود. به طوری که زمان انتظار کل کمینه گردد. آنها برای این منظور از یک روش برنامه ریزی صحیح و الگوریتم PSO استفاده کردند.

ساسیادیک و دولگو [۹] در سال ۲۰۱۵ از الگوریتم NSGA-II جهت حل مدل چندهدفه برنامه ریزی کشتی ها استفاده نمودند. برنامه ریزی با توجه به میزان گسسته اسکله در دسترس و با توجه به اولویت کشتی ها انجام شد. هموتی و همکاران نیز مساله تخصیص اسکله را با استفاده از الگوریتم خفاش با در نظر گرفتن نوع اسکله برای خدمت دهی هم زمان بیش از یک کشتی مورد بررسی قرار دادند. هموتی و همکاران از داده های موجود در محوطه کانتینری به صورت واقعی استفاده نمودند تا کارایی روش خود را بیشتر نمایان سازند [۱۰].

بوهرکال و همکاران [۱۱] در سال ۲۰۱۱ سه مدل اصلی ارایه شده در مساله تخصیص پهلوگاه های اسکله را در حالت گسسته و پویا مقایسه نمودند و کارایی اولین مدل از آنها را بهبود دادند. اولین مدل بررسی شده در این پژوهش مدل بیان شده در مقاله ایمی و همکاران [۱۲] است که یک مدل برنامه ریزی صحیح مختلط می باشد و در سال ۲۰۰۱ ارایه شده است. در این مدل تابع هدف، مجموع زمان انتظار و زمان عملیات تخلیه و بارگیری کمینه می شود. ایمی و همکاران از الگوریتم آزادسازی لاگرانژ برای حل مدل فوق بهره بردند و اثبات کردند که مدل ارایه شده جهت حل مسایل دنیای واقعی مناسب می باشد.

لیانگ و همکاران [۱۳] در سال ۲۰۱۱ از الگوریتم ژنتیک چندهدفه و یک مدل برنامه ریزی صحیح مختلط غیرخطی برای حل مساله تخصیص اسکله بهره بردند. در این مدل تخصیص جرثقیل ها لحاظ شده و زمان عملیات هر کشتی وابسته به تعداد جرثقیل های تخصیص یافته می باشد. اهداف مساله کمینه سازی مجموع زمان سرویس و انتظار و تاخیر کشتی ها و کمینه سازی جابجایی جرثقیل ها میان اسکله ها است.

هان و همکاران [۱۴] در سال ۲۰۱۰ مدلی پویا جهت ورود کشتی ها ارایه دادند که کشتی ها جهت دریافت خدمات دارای اولویت متفاوت می باشند. در این پژوهش جرثقیل ها در هنگام پهلوگیری کشتی جهت ارایه سرویس می توانند از یک کشتی به کشتی دیگر منتقل شوند. اما تعداد جرثقیل هایی که به هر کشتی خدمت می دهند در هر لحظه ثابت فرض شده است. زمان ورود و سرویس کشتی ها به صورت تصادفی با توزیع نرمال ایجاد شده است. تابع هدف زمان انتظار به علاوه انحراف استاندارد مجموع زمان سرویس و مقدار وزن تاخیر جدایی از اسکله در نظر گرفته شده است. آنها از یک الگوریتم ابتکاری برپایه ژنتیک جهت حل مساله بهره برده اند. حل مساله تخصیص و زمان بندی آن با روش ها و الگوریتم های ترکیبی نیز در [۱۵] بسیار مورد بررسی قرار گرفته است. جیائو و همکاران مساله تخصیص را با استفاده از ترکیب الگوریتم های ژنتیک و ازدحام شیهه سازی تبرید مورد بررسی قرار داده اند. باربوسا و همکاران [۱۶] از ترکیب الگوریتم های تکاملی برای حل مساله بهره بردند. تحقیقات بسیاری در سطح جهانی در حیطه برنامه ریزی و زمان بندی موضوعات مختلف انجام شده است،

به طوري كه مسايل زمان‌بندي همواره به عنوان چالش مورد بررسي محققان قرار مي‌گيرد. به عنوان مسايل زمان‌بندي پروژه‌ها، زمان‌بندي وسايل نقليه [۱۷]، زمان‌بندي دروس دانشگاهي يا زمان‌بندي توليد كارگاهي [۱۸] از جمله اين مسايل است.

## ۲ مدل‌سازي

مدل رياضي انتخاب شده مساله تخصيص اسكله (Berth allocation) نام دارد كه در آن به تخصيص اسكله به يك سري كشتي با يك افق زماني مشخص اشاره مي‌شود. در اين زمينه مي‌توان چندين هدف مانند مينيم كردن زمان سرويس كشتي‌ها، مينيم كردن زمان ماندن در بندر، مينيم كردن تعداد كشتي‌هاي رد شده، مينيم كردن انحراف بين زمان‌بندي برنامه‌ريزي شده و واقعي را در نظر گرفت. هدف اين مدل اما تخصيص بهينه كشتي‌ها در بنادر است به طوري كه زمان بارگيري كشتي‌ها مينيم شود. محدوديت‌هاي زماني محدوديت‌هايي هستند كه به زمان ورود كشتي‌ها مربوط و به دو دسته زمان ورود استاتيكي و زمان ورود ديناميكي تقسيم مي‌شوند. در زمان ورود استاتيكي فرض مي‌شود در ابتدای افق زماني تمامي كشتي‌ها در بندر وجود دارند. در زمان ورود ديناميكي فرض مي‌شود كه كشتي‌ها به مرور زمان وارد مي‌شوند و در ابتدای افق زماني لزوماً در بندر وجود ندارند. محدوديت‌هاي مكاني موقعيت‌هاي پهلوگيري عملي كشتي‌ها را با توجه به تقسيم‌بندي از پيش تعيين شده اسكله به پهلوگاه‌ها محدود مي‌كنند. محدوديت‌هاي مكاني به سه دسته گسسته، پيوسته و مركب تقسيم مي‌شوند. در رويكرد گسسته، اسكله به پهلوگاه‌هاي مجزاي تفكيك مي‌شود. در هر پهلوگاه و در زمان واحد تنها يك كشتي مي‌تواند مورد سرويس‌دهي قرارگيرد. در رويكرد پيوسته، هيچ تقسيم‌بندي در اسكله صورت نمي‌گيرد يعني كشتي‌ها مي‌توانند در موقعيت‌هاي دلخواه در طول اسكله پهلوگيري نمايند. در رويكرد مركب نيز مانند رويكرد گسسته، اسكله اصلي به پهلوگاه‌هاي تقسيم مي‌شود، با اين تفاوت كه كشتي‌هاي بزرگ مي‌توانند بيش از يك پهلوگاه را اشغال نمايند يا كشتي‌هاي كوچك مي‌توانند يك پهلوگاه را به اشتراك گذارند. در پژوهش حاضر مدل‌سازي براي حالت ديناميكي و رويكرد مكاني مركب انجام شده است.

پارامترها در مساله تخصيص اسكله به شرح زير مي‌باشد:

$N_s$ : تعداد اسكله‌ها

$S$ : طول هر اسكله

$T$ : طول افق زمان‌بندي

$N$ : تعداد كل كشتي‌هاي ورودی

$p_i$ : زمان پردازش كشتي  $i$

$s_i$ : سايز كشتي  $i$

$a_i$ : زمان ورود كشتي  $i$

متغیرهای تصمیم:

$u_i$ : زمان شروع عملیات کشتی  $i$

$v_i$ : موقعیتی که کشتی  $i$  پهلوگیری می کند

$c_i$ : زمان خروج کشتی  $i$

$\sigma_{ij}$ : اگر در دیاگرام زمان-فضا کشتی  $i$  کاملاً سمت چپ کشتی  $j$  باشد  $\sigma_{ij} = 1$  در غیر این صورت  $\sigma_{ij} = 0$

$\delta_{ij}$ : اگر در دیاگرام زمان-فضا کشتی  $i$  کاملاً بالای کشتی  $j$  باشد  $\delta_{ij} = 1$  در غیر این صورت  $\delta_{ij} = 0$

مدل ریاضی ارائه شده مساله که به تفکیک اسکله می باشد، به تخصیص اسکله به تعدادی کشتی با یک افق زمانی مشخص اشاره می شود. در این پژوهش، هدف تخصیص بهینه کشتی ها در بنادر است به طوری که زمان تاخیر کشتی ها مینیمم شود. پهلوگیری کشتی ها در زمان و مکان بهینه یکی از مسایل مهم در صنعت کشتیرانی است و در سال های اخیر مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است. مدل ریاضی زیر یکی از همین مدل ها است به طوری که در تابع هدف این مدل در رابطه ۱ ترکیب خطی زمان تاخیر دریافت سرویس کشتی ها در اسکله کمینه سازی می شود.

$$\min \sum_{i=1}^N (c_i - (a_i + p_i)) \quad (1)$$

s.t.

$$\left\{ \begin{array}{ll} u_j - u_i - p_i - (\sigma_{ij} - 1).T \geq 0, & \forall i \geq 1, j \leq N, i \neq j \\ v_j - v_i - s_i - (\delta_{ij} - 1).S \geq 0, & \forall i \geq 1, j \leq N, i \neq j \\ \sigma_{ij} + \sigma_{ji} + \delta_{ij} + \delta_{ji} \geq 1, & \forall i \geq 1, j \leq N, i \neq j \\ \sigma_{ij} + \sigma_{ji} \leq 1, & \forall i \geq 1, j \leq N, i \neq j \\ \delta_{ij} + \delta_{ji} \leq 1, & \forall i \geq 1, j \leq N, i \neq j \\ p_i + u_i = c_i, & \forall 1 \leq i \leq N \\ a_i \leq u_i \leq (T - p_i), & \forall 1 \leq i \leq N \\ 0 \leq v_i \leq (S - s_i), & \forall 1 \leq i \leq N \\ u_i, v_i \in R^+ & \forall 1 \leq i \leq N \\ \sigma_{ij} \in \{0, 1\}, \delta_{ij} \in \{0, 1\} & \forall i \geq 1, j \leq N, i \neq j \end{array} \right.$$

تابع هدف کمینه سازی مجموعه موزون زمان تاخیر در دریافت سرویس کشتی ها در اسکله ها است. محدودیت های اول و دوم محدودیت های مربوط به زمان و فضای تخصیص کشتی ها در اسکله را بیان می کند. محدودیت های سوم، چهارم و پنجم تضمین می کنند که تخصیص کشتی ها در اسکله دارای هم پوشانی روی دیاگرام زمان-فضا نباشد. محدودیت ششم، یک محدودیت محاسباتی برای زمان خروج کشتی ها از اسکله (completion time) است. محدودیت هفتم محدودیت افق زمانی برنامه ریزی است و محدودیت هشتم محدودیت ظرفیت اسکله یا فضای در دسترس است.

### ۳ الگوريتم واكنش شيميايي

#### ۳-۱ مفهوم اساسي الگوريتم

اين الگوريتم از عملکرد مولكول‌ها در واكنش‌هاي شيميايي براي رسيدن به حداقل انرژي الهام گرفته است و اولين بار در سال ۲۰۱۰ توسط آلبرت مطرح شد. همان‌طور كه مي‌دانيم ماده در طبيعت سعي در رسيدن به حداقل سطح انرژي پتانسيل را دارد. فرض مي‌شود كه مولكول‌ها در يك محيط بسته قرار دارند. بنابر اين يا با هم برخورد مي‌كنند و يا به ديواره ظرف برخورد مي‌كنند. اين الگوريتم از فرايند و واكنش‌هاي مولكولي الهام گرفته است. هر مولكول مجموعه‌اي از اتم‌ها و خواصي مانند تعداد و ... مي‌باشد. ما هر مولكول را با يك آرايه نمايش مي‌دهيم كه ويژگي‌هاي آن مولكول را نمايش مي‌دهد.

$\omega$ : كه نشان‌دهنده‌ي ساختار مولكول يا همان راه حل مفيد مي‌باشد.

PE: براي هر مولكول يك ويژگي انرژي پتانسيل (Potential Energy) تعريف مي‌كنيم كه ميزان شايستگي هر مولكول را نمايش مي‌دهد.

KE: براي هر مولكول يك ويژگي انرژي جنبشي (Kinetic Energy) تعريف مي‌كنيم.

NumHit: براي هر مولكول يك ويژگي numHit تعريف شده كه تعداد برخوردهاي هر مولكول را مشخص مي‌كند.

MinHit: براي هر مولكول يك ويژگي minHit تعريف مي‌كنيم كه حداقل تعداد برخوردها را مشخص مي‌كند.

LocalMin: براي هر مولكول يك ويژگي localMin تعريف مي‌كنيم كه ميني‌م‌ترين جوابي كه اخيرا اين مولكول مشاهده کرده است را نگهداري مي‌كند. هر مولكول مجموعه‌اي از اتم‌ها و خواصي همچون تعداد است كه يك راه حل قابل قبول براي مساله مي‌باشد. هر مولكول دو نوع انرژي PE و KE را دارا مي‌باشد. مقدار تابع هدف هر مولكول برابر با ميزان انرژي PE است. هر مولكولي  $\omega$  تمايل دارد به مولكول  $\omega'$  تغيير يابد، اين تغيير هميشه امكان‌پذير است اگر  $f(\omega) \geq f(\omega')$  و در غير اين صورت تنها در صورت برقراري  $PE_{\omega} + KE_{\omega} \geq PE_{\omega'}$  تغيير ممكن مي‌شود. در واقع KE توانايي مولكول براي فرار از بهينه محلي است. طبق قانون بقاي انرژي، انرژي ايجاد نمي‌شود و از بين نمي‌رود؛ بنابر اين تنها تبديل انرژي PE و KE در طی فرايندهاي شيميايي به يكدیگر امكان‌پذير مي‌باشد. الگوريتم CRO با يك بافر مركزي انرژي كار مي‌كند. به‌طوري كه با پيشرفت الگوريتم، مقدار KE كاهش مي‌يابد. به عبارت ديگر مولكول‌ها مجبورند كه در تكرارهاي بعدي ساختار مولكولي با مقدار PE كمتر و كمتر داشته باشند. واكنش‌هاي اصلي در الگوريتم CRO در چهار دسته قرار مي‌گيرند. هر يك از اين واكنش‌ها روشي براي دستكاري انرژي مولكول‌هاي در گير در آن واكنش هستند.

### ۲-۳ برخورد بی اثر دیواره‌ای

یک مولکول به دیواره برخورد کرده و بازمی‌گردد و برخی ویژگی‌های آن در این برخورد تغییر می‌کند. در اثر این واکنش مولکول  $\omega$  به مولکول  $\omega'$  تبدیل می‌شود به طوری که  $\omega' = Neighbour(\omega)$ . این تبدیل زمانی مجاز است که رابطه (۲) برقرار باشد:

$$PE_{\omega} + KE_{\omega} \geq PE_{\omega'} \quad (2)$$

در صورت عدم برقراری شرط رابطه (۲)،  $\omega$  و  $PE$  و  $KE$  همان مقادیر قبلی باقی می‌مانند و در صورت برقراری شرط،  $\omega'$  به  $\omega'$  تبدیل می‌شود به طوری که رابطه (۳) برقرار شود.

$$KE_{\omega'} = (PE_{\omega} + KE_{\omega} - PE_{\omega'}) \times q \quad (3)$$

که  $q$  عددی بین  $KE_{LossRate}$  و ۱ می‌باشد.  $1-q$  نشان دهنده ضریب کاهش  $KE$  در محیط هنگام برخورد به دیواره می‌باشد.  $KE_{LossRate}$  یک پارامتر سیستم است که حداکثر درصد کاهش  $KE$  در هر زمان را محدود می‌کند. انرژی هدررفته در بافر ذخیره می‌شود و انرژی ذخیره شده می‌تواند در فرایند تجزیه استفاده شود. شبه کد این واکنش در الگوریتم ۱ آمده است.

-----  
ineff\_coll\_on\_wall(M,buffer)  
-----

Input : Amolecule M with its profile and central energy buffer.

- 
۱. Obtain  $\omega' = Neighbor(\omega)$
  ۲. Calculate  $PE_{\omega'}$
  ۳. if  $PE_{\omega} + KE_{\omega} \geq PE_{\omega'}$  then
  ۴. Get  $q$  randomly in interval  $[KE_{LossRate}, 1]$
  ۵.  $KE_{\omega'} = (PE_{\omega} + KE_{\omega} - PE_{\omega'}) \times q$
  ۶. Update buffer = buffer +  $(PE_{\omega} + KE_{\omega} - PE_{\omega'}) \times (1 - q)$
  ۷. Update the profile of M by  $\omega = \omega'$ ,  $PE_{\omega} = PE_{\omega'}$  and  $KE_{\omega} = KE_{\omega'}$
  ۸. end if
  ۹. Output M and buffer
- 

الگوریتم ۱. شبه کد برخورد بی اثر دیواره‌ای

### ۳-۳ تجزیه

یک مولکول بعد از برخورد به دیواره به دو یا چند مولکول متفاوت تبدیل می‌شود (فرض بر این است که یک مولکول به دو مولکول تجزیه می‌شود). مولکول  $\omega'_1$  به دو مولکول  $\omega'_1$  و  $\omega'_2$  تجزیه می‌شود. مقدار  $PE$  مولکول‌های حاصل از شرط (۴) پیروی می‌کند و در صورت عدم برقراری تجزیه صورت نمی‌گیرد:

$$PE_{\omega} + KE_{\omega} \geq PE_{\omega'_1} + PE_{\omega'_2} \quad (4)$$

مقدار KE مولکول‌های حاصل به صورت زیر می‌باشد:

$$KE_{\omega'_1} = temp1 \times K$$

$$KE_{\omega'_2} = temp1 \times (1 - K)$$

که در آن:

$$temp1 = PE_{\omega} + KE_{\omega} - PE_{\omega'_1} - PE_{\omega'_2}$$

K یک عدد تصادفی در بازه صفر و یک با توزیع یکنواخت است. برای تشویق به عمل تجزیه از انرژی موجود در بافر استفاده می‌شود و اگر شرط مذکور در (۴) برقرار نبود شرط (۵) بررسی می‌شود:

$$PE_{\omega} + KE_{\omega} + buffer \geq PE_{\omega'_1} + PE_{\omega'_2} \quad (5)$$

اگر شرط (۵) برقرار بود تجزیه صورت می‌گیرد و داریم:

$$KE_{\omega'_1} = (temp1 + buffer) \times m1 \times m2$$

$$KE_{\omega'_2} = (temp1 + buffer - KE_{\omega'_1}) \times m3 \times m4$$

که  $m1$  و  $m2$  و  $m3$  و  $m4$  اعداد تصادفی هستند. که با توزیع یکنواخت در بازه صفر و یک تولید شده‌اند، ضرب کردن  $m1$  در  $m2$  و  $m3$  در  $m4$  تضمین می‌کند که مقدار KE مولکول‌های جدید خیلی زیاد نباشد. چرا که مقدار بافر معمولاً زیاد است. سپس مقدار بافر با رابطه (۶) به‌روزرسانی می‌شود:

$$temp1 + buffer - KE_{\omega'_1} - KE_{\omega'_2} \quad (6)$$

اگر شرط (۴) و (۵) برقرار نباشد تغییرات مجاز نیست و  $\omega$  و PE و KE همان مقادیر قبلی می‌مانند. شبه کد مربوط به تجزیه در الگوریتم ۲ آمده است.

-----  
 $decompose(M, buffer)$   
 -----

Input : A molecule M with its profile and the central energy  
 buffer buffer.

۱. obtain  $\omega'_1$  and  $\omega'_\tau$  from  $\omega$
۲. Calculate  $PE_{\omega'_1}$  and  $PE_{\omega'_\tau}$
۳. Let  $temp_1 = PE_{\omega'_1} + KE_{\omega'_1} - PE_{\omega'_1} - PE_{\omega'_\tau}$
۴. Create a Boolean variable Success
۵. if  $temp_1 \geq 0$  then
۶. Success = TRUE
۷. Get k randomly in interval  $[0, 1]$
۸.  $KE_{\omega'_1} = temp_1 \times k$
۹.  $KE_{\omega'_\tau} = temp_1 \times (1 - k)$
۱۰. Create new molecules  $M'_1$  and  $M'_\tau$
۱۱. Assign  $\omega'_1, PE_{\omega'_1}$  and  $KE_{\omega'_1}$  to the profile of  $M'_1$ ,  
 and  $\omega'_\tau, PE_{\omega'_\tau}$  and  $KE_{\omega'_\tau}$  to the profile of  $M'_\tau$
۱۲. else if  $temp_1 + buffer \geq 0$  then
۱۳. Success = TRUE
۱۴. Get  $M_1, M_\tau, M_\tau$  and  $M_\tau$  independently randomly in  
 interval  $[0, 1]$
۱۵.  $KE_{\omega'_1} = (temp_1 + buffer) \times m_1 \times m_\tau$
۱۶.  $KE_{\omega'_\tau} = (temp_1 + buffer - KE_{\omega'_1}) \times m_\tau \times m_\tau$
۱۷. Update  $buffer = temp_1 + buffer - KE_{\omega'_1} - KE_{\omega'_\tau}$
۱۸. Assign  $\omega'_1, PE_{\omega'_1}$  and  $KE_{\omega'_1}$  to the profile of  $M'_1$
۱۹. else
۲۰. Success = FALSE
۲۱. end if
۲۲. Output  $M'_1$  and  $M'_\tau$ , Success and buffer

الگوریتم ۲. شبه کد تجزیه

### ۳-۴ برخورد بی اثر داخل مولکولی

دو مولکول با هم برخورد کرده و دو مولکول با ویژگی‌های جدید ایجاد می‌شود. دو مولکول  $\omega_1$  و  $\omega_2$  با هم برخورد می‌کنند و دو مولکول جدید  $\omega'_1$  و  $\omega'_2$  به ترتیب ایجاد می‌شود که  $\omega'_1$  همسایگی  $\omega_1$  و  $\omega'_2$  همسایگی  $\omega_2$  است. این تغییرات قابل انجام است اگر رابطه (۷) برقرار باشد.

$$PE_{\omega_1} + PE_{\omega_2} + KE_{\omega_1} + KE_{\omega_2} \geq PE_{\omega'_1} + PE_{\omega'_2} \quad (7)$$

و داریم:

$$KE_{\omega'_1} = temp2 \times P$$

$$KE_{\omega'_2} = temp2 \times (1 - P)$$

که در آن:

$$temp2 = (PE_{\omega_1} + PE_{\omega_2} + KE_{\omega_1} + KE_{\omega_2}) - (PE_{\omega'_1} + PE_{\omega'_2})$$

P یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه صفر و یک است. اگر شرط (۷) برقرار نباشد مولکول  $\omega_1$  و  $\omega_2$  بدون تغییر باقی می‌مانند

شبه کد برخورد داخل مولکولی در الگوریتم ۳ آمده است.

-----  
 $inter\_ineff\_coll(M_1, M_2)$   
 -----

*Input : molecule  $M_1, M_2$  with their profiles.*

۱. Obtain  $\omega'_1 = Neighbor(\omega_1)$  and  $\omega'_2 = Neighbor(\omega_2)$

۲. Calculate  $PE_{\omega'_1}$  and Calculate  $PE_{\omega'_2}$

۳. Let  $temp2 = (PE_{\omega_1} + PE_{\omega_2} + KE_{\omega_1} + KE_{\omega_2}) - (PE_{\omega'_1} + PE_{\omega'_2})$

۴. if  $temp_2 \geq 0$  then

۵. Get p randomly in interval  $[0, 1]$

۶.  $KE_{\omega'_1} = temp_2 \times p$

۷.  $KE_{\omega'_2} = temp_2 \times (1 - p)$

۸. Update the profile of  $M_1$  by  $\omega_1 = \omega'_1$ ,  $PE_{\omega_1} = PE_{\omega'_1}$

and  $KE_{\omega_1} = KE_{\omega'_1}$ , and the profile of  $M_2$  by  $\omega_2 = \omega'_2$ ,

$PE_{\omega_2} = PE_{\omega'_2}$  and  $KE_{\omega_2} = KE_{\omega'_2}$

۹. end if

۱۰. Output  $M_1$  and  $M_2$   
 -----

الگوریتم ۳. شبه کد برخورد داخل مولکولی

### ۳-۵ سنتز یا ترکیب

در این فرایند دو (یا چند) مولکول با هم ترکیب می‌شوند و یک مولکول جدید ایجاد می‌کنند.  $\omega_1$  و  $\omega_2$  را مولکول‌های اولیه و  $\omega'$  را مولکول حاصل در نظر بگیرید. اگر شرط (۸) برقرار باشد، عمل ترکیب انجام می‌گیرد.

$$PE_{\omega_1} + PE_{\omega_2} + KE_{\omega_1} + KE_{\omega_2} \geq PE_{\omega'} \quad (8)$$

و داریم:

$$KE_{\omega'} = PE_{\omega_1} + PE_{\omega_2} + KE_{\omega_1} + KE_{\omega_2} - PE_{\omega'}$$

در اثر این واکنش مقدار KE مربوط به  $\omega'$  بیشتر از دو مولکول اولیه است زیرا مقدار PE مربوط به  $\omega'$

انتظار می‌رود که مقداری مشابه PE دو مولکول اولیه داشته باشد. و در نتیجه مولکول حاصل توانایی بیشتری در

فرار از بهینه‌های محلی را دارد. شبه کد الگوریتم CRO در الگوریتم ۵ آمده است.

شبه کد این واکنش در الگوریتم ۴ آمده است.

*synthesis*( $M_1, M_2$ )

-----  
*Input* : molecule  $M_1, M_2$  with their profiles.

۱. Obtain  $\omega$  from  $\omega_1$  and  $\omega_2$
۲. Calculate  $PE_{\omega_1}$
۳. Create a Boolean variable Success
۴. Create a new molecule  $M'$
۵. if  $PE_{\omega_1} + PE_{\omega_2} + KE_{\omega_1} + KE_{\omega_2} \geq PE_{\omega'}$  then
۶. Success = TRUE
۷.  $KE_{\omega'} = PE_{\omega_1} + PE_{\omega_2} + KE_{\omega_1} + KE_{\omega_2} - PE_{\omega'}$
۸. Assign  $\omega', PE_{\omega'}$  and  $KE_{\omega'}$  to the profile of  $M'$
۹. else
۱۰. Success=FALSE
۱۱. end if
۱۲. Output  $M'$  and Success

-----  
**الگوریتم ۴.** شبه کد ترکیب.

12. Select a molecule M from Pop randomly
13. if decomposition criterion met then
14. ( $M'_1, M'_2, Success$ )=decompose(M,buffer)
15. if Success then
16. Remove M from pop
17. Add  $M'_1$  and  $M'_2$  to Pop
18. end if
19. else
20. ineff\_coll\_on\_wall(M,buffer)
21. end if
22. else
23. Select Molecules  $M_1$  and  $M_2$  from Pop randomly
24. if synthesis criterion met then
25. ( $M', Success$ )=synthesis( $M_1, M_2$ )
26. if Success then
27. Remove  $M_1$  and  $M_2$  from Pop
28. Add  $M'$  to Pop
29. end if
30. else
31. inter\_ineff\_coll( $M_1, M_2$ )
32. end if
33. end if
34. Check for any new minimum solution
35. end
36. output the overall minimum solution and its function

**الگوریتم ۵.** شبه کد الگوریتم CRO

#### ۴ روش پيشنهادي

در اين مقاله از يک روش موثر به نام (CRO\_OPT) براي حل مساله تخصيص اسكله‌ها با استفاده از MATLAB R2013a روي پلت فرمي به مشخصات Intel core i3 با حافظه 4GB RAM و سيستم عامل ويندوز 7 استفاده نموديم. براي حل مساله داده‌هاي مورد نياز را با استفاده از الگوريتم پيشنهادي مورد تست قرار داديم، سپس روش پيشنهادي را با سه الگوريتم ژنتيك، ازدحام ذرات و ديفرانسل تكاملی مقايسه نموديم. در مساله مورد بررسي هر ديتاست ۲۰ بار تکرار شده است. در اين پژوهش فرض شده است کشتي‌ها در طول زمان وارد می‌شوند و بايد به محض رسيدن در زودترين زمان ممکن پهلو داده شوند. بنابر اين اولين فرض، ديناميك بودن زمان ورود کشتي‌ها می‌باشد، چرا که در واقعيت هم همين گونه است. فرض بعدي در مورد نحوه برخورد با منابع پهلوگاہي می‌باشد. از بين دو نوع رويکرد گسسته و پيوسته، رويکرد پيوسته باعث بهره‌وري بيشتر از منابع پهلوگاہي می‌شود و همچنين موجب درگيري منابع بيشترى از اسكله در مقايسه با رويکرد گسسته می‌شود. بنابر اين در اين پژوهش ترجيح داده شد از رويکرد پيوسته استفاده شود. اما از آنجايي که بنادر اسكله‌هاي مختلفي را شامل می‌شود، براي برنامه‌ريزي هم‌زمان اسكله‌هاي پاينه، به طوري که فضاي اسكله‌ي هر پاينه به صورت پيوسته در نظر گرفته شود نياز به يک رويکرد مرکب براي برخورد با محدوديت مکاني مربوط به فضاي اسكله می‌باشد. علاوه بر اين در اين مقاله فرض بر اين است سرويس دهی در يک مرحله صورت می‌پذيرد و زمان تاخير در اين مقاله همان زمان انتظار کشتي است. جهت استفاده از الگوريتم‌هاي فراابتکاري پاسخ‌هاي ممکن مساله بايد به صورت مدلی به الگوريتم ارايه گردد و برازندگی آن توسط تابع هدف مدل شده در يک فرمول رياضي مورد بررسي قرار گيرد. در اين پژوهش از الگوريتم CRO بهبوديافته و يک کدينگ تک قسمتي پيوسته در مرحله نخست استفاده می‌کنيم. به اين ترتيب در صورتي که تعداد کشتي‌ها  $P$  و تعداد اسكله‌ها  $Q$  باشد، هر عضو جمعيت يک آرايه به طول  $P+Q-1$  از اعداد مابين صفر تا يک می‌باشد که به‌طور تصادفي در آرايه چيده شده‌اند. آنچه در اين کدينگ حايز اهميت است اين است که ترتيب قرارگيري اعداد در آرايه در صورت مرتب‌سازي يک جاگشت از اعداد يک تا  $P+Q-1$  آرايه می‌دهد. به‌طور مثال اگر تعداد کشتي‌ها برابر ۲۰ باشد و تعداد اسكله‌ها ۳ اسكله باشد. يک کدينگ ممکن از پاسخ به‌صورت زير خواهد بود. (يک آرايه با بيست و دو عضو)

۰/۹۳۴۰ ۰/۴۸۹۸ ۰/۱۳۸۶ ۰/۵۶۷۸ ۰/۰۸۳۸ ۰/۲۶۳۸ ۰/۴۸۹۳ ۰/۷۳۱۷ ۰/۷۹۴۸ ۰/۹۲۳۴ ۰/۰۲۹۲  
۰/۲۶۱۹ ۰/۸۵۹۴ ۰/۱۴۹۹ ۰/۴۳۱۷ ۰/۵۳۹۱ ۰/۱۲۰۶ ۰/۳۱۲۷ ۰/۶۱۱۰ ۰/۲۲۴۰ ۰/۱۵۲۷ ۰/۷۰۹۳

پس از مرتب‌سازي ترتيب به‌دست آمده به‌صورت زير است:

۱۱ ۵ ۱۷ ۳ ۱۴ ۲۱ ۲۰ ۱۲ ۶ ۱۸ ۱۵ ۷ ۲ ۱۶ ۴ ۱۹ ۲۲ ۸ ۹ ۱۳ ۱۰ ۱

اعداد ۱ تا ۲۰ نشانگر کشتي‌ها و اعداد ۲۱ و ۲۲ به‌عنوان جدا کننده عمل می‌کنند به‌طوري که اعداد قرار گرفته از ابتدای آرايه تا جداکننده اول که در آرايه قرار دارد شماره کشتي‌هايی می‌باشند که در اسكله اول پهلو می‌گيرند. اعداد قرار گرفته مابين دو جداکننده که در آرايه قرار دارد شماره کشتي‌هايی می‌باشند که در اسكله دوم پهلو می‌گيرند و اعداد باقي مانده شماره کشتي‌هايی که در اسكله سوم پهلو می‌گيرند. تابع هدف نيز به‌صورت مجموع تاخير در پهلوگيري کشتي‌ها محاسبه می‌شود و هدف کاهش اين زمان می‌باشد.

الگوریتم COR شامل سه مرحله می‌باشد: مرحله اول، مقداردهی اولیه می‌باشد که در این مرحله جمعیت اولیه به صورت تصادفی ایجاد می‌شود جمعیت ممکن به صورت جایگشتی از کشتی‌ها همچنان که ذکر شد ارایه می‌گردد و در ادامه پارامترهای الگوریتم مقداردهی می‌شوند. در مرحله دوم، عملیات تکرار الگوریتم بارها تکرار می‌شود و پاسخ ممکن به سمت بهینگی حرکت می‌کند. در هر تکرار یک برخورد انتخاب می‌شود، ابتدا تصمیم‌گیری می‌شود که یک برخورد درون مولکولی یا یک برخورد تک مولکولی رخ دهد. برای این کار یک عدد تصادفی  $t$  به صورت رندوم با توزیع یکنواخت در بازه صفر و یک تولید و اگر این عدد بیشتر از مقدار معینی باشد در نتیجه یک برخورد تک مولکولی رخ خواهد داد و در غیراین صورت یک برخورد بین مولکولی اتفاق خواهد افتاد. سپس به تعداد مناسب (بسته به اینکه برخورد تک مولکولی است یا بین مولکولی) مولکول از جمعیت به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. برای انتخاب نوع برخورد شرط تجزیه یا ترکیب بررسی می‌شود. سپس ایجاد یک نقطه مینیم جدید بررسی می‌گردد و در صورت وجود ثبت می‌شود. این مراحل تا رسیدن به شرط توقف تکرار می‌شود. الگوریتم CRO یک الگوریتم مبتنی بر جمعیت می‌باشد اما اندازه جمعیت بسته به عملگرهای تجزیه و ترکیب می‌تواند متغیر باشد. در روش پیشنهادی در این پژوهش تلاش شده تا تعداد جمعیت در الگوریتم کنترل شود. با توجه به سازوکار الگوریتم در بخش ترکیب، جمعیت به سمت تک نقطه ای شدن و در نتیجه عدم امکان استفاده از عملگرهای دو مولکولی می‌رود. سازوکار الگوریتم در بخش تجزیه، جمعیت را به سمت افزایش سوق می‌دهد و الگوریتم کند می‌شود ما از یک سازوکار حذف با استفاده از نخبه‌گرایی جهت حفظ حداکثر جمعیت استفاده نمودیم. به این ترتیب که در صورت افزایش جمعیت از حداکثر تعیین شده، تعداد لازم جهت حذف از بدترین پاسخ‌ها انتخاب و حذف شده و بهترین پاسخ‌ها حفظ می‌شوند. جهت پیشگیری از تک نقطه‌ای شدن الگوریتم نیز از بهینه سراسری جهت افزایش یک نقطه در محیط تک نقطه‌ای شده بهره بردیم. در این پژوهش زمان ورود کشتی به اسکله جهت پهلوگیری، طول کشتی و زمان انتظار کشتی به ترتیب  $p$  و  $s$  در نظر گرفته شده که مشخصات آن در پیوست (۱) آمده است.

## ۵ نتایج

در این مطالعه ما از الگوریتم واکنش شیمیایی بهبودیافته حل مساله تخصیص اسکله‌ها که جز مسایل NP-Hard است، استفاده کردیم. در این مقاله برای حل این مساله از MATLAB R2013a روی پلت فرمی به مشخصات Intel core i3 با حافظه RAM، 4GB و سیستم عامل ویندوز 10 استفاده شده است. برای حل انتخاب ویژگی داده‌های موردنیاز را با استفاده از الگوریتم پیشنهادی مورد تست قرار دادیم، سپس روش پیشنهادی را با ۳ الگوریتم ازدحام ذرات، ژنتیک و دیفرانسیل مقایسه نمودیم. در مساله مورد بررسی تعداد تکرار در هر الگوریتم ۱۰۰۰ و سایر پارامترها مانند اندازه جمعیت، حد بالا و پایین یکسان در نظر گرفته شده‌اند. در ادامه جهت بهبود نتایج الگوریتم سعی در حفظ جمعیت الگوریتم در یک بازه مناسب نمودیم. جهت بررسی نتایج از سه الگوریتم فراابتکاری ازدحام ذرات، ژنتیک و دیفرانسیل تکاملی برای مقایسه استفاده کردیم. مشخصات بندر کانتینری مورد بررسی به صورت تصادفی انتخاب و به صورت زیر می‌باشد:

افق زمانی: ۵۰ روز

تعداد اسکله‌ها: ۳

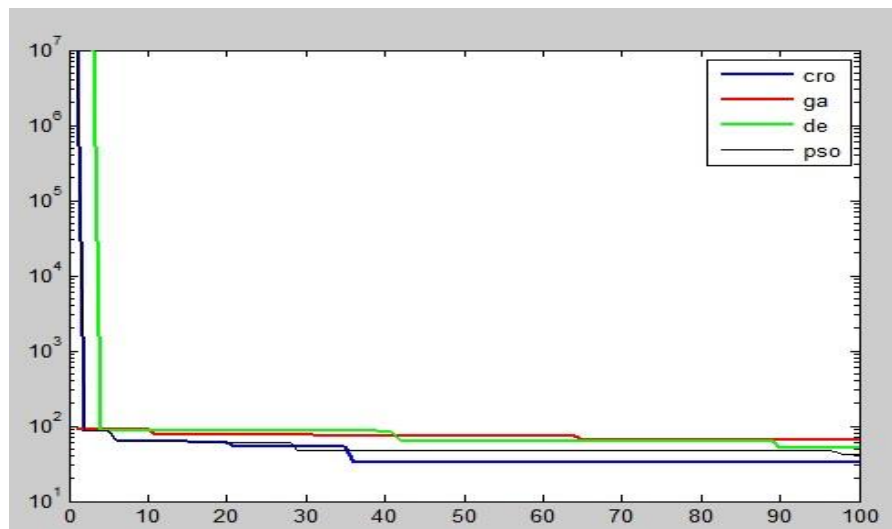
طول اسکله‌ها: در پیوست ۱

مشخصات کشتی‌ها (به ترتیب): در پیوست ۱

داده‌های به کار رفته در این شبیه‌سازی در پنج سائز مختلف انتخاب شد تا تحلیل مناسب‌تری از کارکرد روش‌های مختلف نشان دهد. جدول ۱ نتایج عددی حاصل از شبیه‌سازی مساله با روش پیشنهادی و سه الگوریتم مورد مقایسه را به تفکیک دیتا و الگوریتم نشان می‌دهد. علاوه بر این نمودار Rocurve با تکرار ۱۰۰۰ مرتبه مربوط به الگوریتم‌ها در شکل ۱ آمده است.

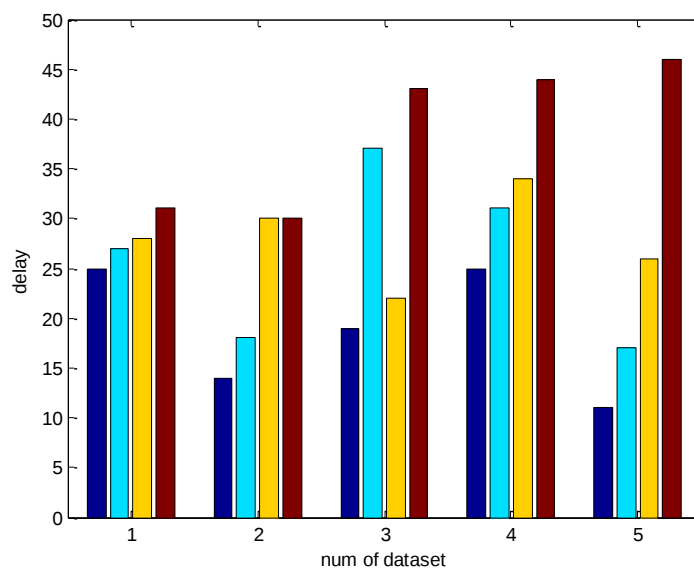
جدول ۱. نتایج عددی حاصل از شبیه‌سازی

| داده | الگوریتم | بهترین زمان سرویس | بدترین زمان سرویس | میانگین زمان‌های سرویس | انحراف معیار زمان‌های سرویس | زمان پاسخ دهی الگوریتم (ثانیه) |
|------|----------|-------------------|-------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| ۱    | CRO_opt  | ۲۵                | ۴۲                | ۳۰/۱                   | ۵/۰۷                        | ۴۰/۹۳                          |
|      | PSO      | ۲۷                | ۴۲                | ۳۱/۳۳                  | ۴/۲۲                        | ۲۰۹/۲۷                         |
|      | GA       | ۲۸                | ۶۲                | ۴۰/۸۹                  | ۱۱/۸۷                       | ۷۴/۲۰                          |
|      | DE       | ۳۱                | ۴۴                | ۳۴/۴                   | ۳/۹۶                        | ۲۳۳/۰۷                         |
| ۲    | CRO_opt  | ۱۴                | ۲۸                | ۲۰/۴                   | ۵/۱۷                        | ۶۰/۵۰                          |
|      | PSO      | ۱۸                | ۲۹                | ۲۱/۱۶۷                 | ۴/۱۶                        | ۲۵۶/۰۸                         |
|      | GA       | ۳۰                | ۵۵                | ۴۱/۲۲                  | ۸/۱۳                        | ۱۲۶/۶                          |
|      | DE       | ۳۰                | ۴۰                | ۳۴/۲                   | ۴/۸۶                        | ۳۹۷/۳۲                         |
| ۳    | CRO_opt  | ۱۹                | ۲۶                | ۲۳/۲                   | ۱/۹۲                        | ۷۶/۶۱                          |
|      | PSO      | ۳۷                | ۴۴                | ۳۶/۸                   | ۶/۶۸                        | ۵۲۰/۱۹                         |
|      | GA       | ۲۲                | ۳۵                | ۲۷/۶                   | ۵/۰۲                        | ۱۶۸/۱۲                         |
|      | DE       | ۴۳                | ۵۴                | ۴۶/۸                   | ۴/۲۶                        | ۵۰۵/۵۱                         |
| ۴    | CRO_opt  | ۲۵                | ۷۱                | ۳۳/۱                   | ۶/۱۶                        | ۱۳۶/۲۱                         |
|      | PSO      | ۳۱                | ۲۵                | ۱۶                     | ۶/۲۱                        | ۴۴۶/۱۲                         |
|      | GA       | ۳۴                | ۵۵                | ۴۰                     | ۷/۷۴                        | ۲۳۵/۲۱                         |
|      | DE       | ۴۴                | ۵۵                | ۵۰/۲                   | ۵/۴۴                        | ۶۷۰/۸۱                         |
| ۵    | CRO_opt  | ۱۱                | ۴۰                | ۲۵/۵                   | ۱۰/۴۶                       | ۱۸۶/۵۱                         |
|      | PSO      | ۱۷                | ۲۷                | ۲۴/۶                   | ۲/۸۸                        | ۶۰۷/۲۲                         |
|      | GA       | ۲۶                | ۳۷                | ۲۹/۴۲                  | ۶/۱۰                        | ۲۲۶/۱۶                         |
|      | DE       | ۴۶                | ۶۰                | ۵۱/۴                   | ۵/۷۲                        | ۶۳۱/۹۳                         |



شکل ۱. نمودار Rocurv مقایسه الگوریتم‌ها

نتایج با استفاده از سه الگوریتم ازدحام ذرات و ژنتیک و دیفرانسیل تکاملی پایه و روش پیشنهادی به دست آمده است. مقایسه این روش‌ها نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با دقت بالاتری عمل کرده است و نتایج زمان سرویس و بالطبع تأخیر کمتری را نشان می‌دهد. در شکل ۲ نمودار میله‌ای مقایسه بهینه نهایی الگوریتم‌ها به تفکیک داده‌ها نشان داده شده است.



شکل ۲. نمودار میله‌ای مقایسه بهینه نهایی الگوریتم‌ها به تفکیک دیتا

الگوریتم CRO پاسخ بهینه را می‌یابد. نمودار میله‌ای مقایسه بهترین پاسخ حاصل از الگوریتم‌ها را به خوبی نشان می‌دهد. الگوریتم CRO کم‌ترین تأخیر را ارائه می‌دهد. در شکل بالا رنگ آبی متعلق به الگوریتم پیشنهادی است که کم‌ترین تأخیر را دارد. در نمودار به راحتی بازه شماره ۵ کارایی روش پیشنهادی را بهتر نمایان می‌سازد. در صورت زمان‌بندی به صورت دستی، زمان تأخیرها با توجه به تعداد و اندازه و زمان پردازش متنوع کشتی‌ها بسیار بالا خواهد بود و زمان لازم جهت زمان‌بندی روزها به طول می‌انجامد.

## ۶ نتیجه‌گیری

در اين مقاله يك مدل صحيح زمان‌بندی چندین اسكله مورد بررسی قرار گرفت و الگوريتم پيشنهادی زمان سرویس يا خدمت‌دهی مناسبی را در مقابل الگوريتم‌های مورد مقایسه به‌دست آورد. به عنوان مثال در ستون اول جدول ۱ بهترین زمان سرویس برای الگوريتم‌های واكنش شيميايي، ازدحام ذرات، ژنتیک و ديفرانسیل تکاملی به ترتیب ۲۸، ۲۵، ۲۷ و ۳۱ در شرایط یکسان پارامترها و تعداد تکرارها به‌دست آمده است. علاوه بر این الگوريتم پيشنهادی، زمان پاسخ‌دهی (جدول شماره ۱) مناسب‌تری در مقایسه با الگوريتم‌های دیگر مورد بررسی دارد. در این مطالعه اثربخشی روش پيشنهادی، با بررسی پنج مجموعه داده بررسی شد. الگوريتم CRO، یک الگوريتم بسیار موثر برای جستجوی راه حل‌های بهینه برای یک مساله بهينه‌سازي در حوزه جستجو است. الگوريتم CRO یک الگوريتم مبتنی بر جمعیت می‌باشد اما اندازه جمعیت بسته به عملگرهای تجزیه و ترکیب می‌تواند متغیر باشد. این الگوريتم ذاتاً شامل سه عملیات بین ملکولی است که باعث تغییر در تعداد جمعیت شده و گاه‌ا الگوريتم را کند کرده و یا برخی عملگرهای ممکن جهت استفاده را غیرقابل استفاده می‌نماید. بنابراین با تلاش جهت حفظ جمعیت الگوريتم در بازه مناسب عملکرد، زمان پاسخ مناسب‌تر حاصل شد. در این پژوهش تلاش شده تا تعداد جمعیت در الگوريتم در بازه خاصی حفظ شود. به این ترتیب که در صورت افزایش جمعیت از میزان تعیین‌شده با یک روند نخبه‌گرایی جمعیت را کاهش دهیم و در صورت کاهش جمعیت مولکول، به جمعیت بیافزاییم. در روش‌های دقیق ریاضی نیاز به زمان اجرای بسیار زیادی است چرا که تعداد حالت‌های مختلف ممکن در این مساله بسیار زیاد است و با افزایش هر یک از پارامترهای درگیر در مساله تعداد حالت‌های ممکن به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد. در چنین شرایطی استفاده از الگوريتم‌های فراابتکاری که همه حالت‌های ممکن را بررسی نمی‌کند، کارآمدتر می‌باشد. پیچیدگی الگوريتم پيشنهادی، چندجمله‌ای است و عملکرد کلی الگوريتم (دقت، سرعت همگرایی، پیچیدگی محاسباتی) در مقایسه با سایر روش‌ها رضایت‌بخش است. در روش‌های حل مسایل برنامه‌ریزی خطی به روش سیمپلکس با توجه به این که پیچیدگی زمانی الگوريتم چند جمله‌ای است، تعداد عملیات ماتریسی در هر تکرار زیاد است، حال آنکه در روش پيشنهادی با جستجوی مستقیم، بدون هیچ‌گونه عملیات ماتریسی تقریب دلخواهی از جواب یافت می‌شود و تعداد عملیات محاسباتی کاهش می‌یابد.

## منابع

- [۱] دیلمی، و حیدر، (۱۳۹۲)، بررسی و امکان سنجی زیر ساخت‌های فناوری اطلاعات در بندر الکترونیکی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه پردیس بین الملل گیلان.
- [۲] محمدپور عمران، محمد، حسینی، سید فرزاد، محرمی، مسعود، ابوعلی، سیامک، (۱۳۹۳). ارائه مدلی جدید برای مساله زمانبندی اسكله در پایانه‌های کانتینری با در نظر گرفتن تخصیص جرثقیل‌های اسكله و وسایل حمل و نقل. شانزدهمین همایش صنایع دریایی بندر عباس.
- [۳] داداشی، علی، شیخ الاسلامی، عبدالرضا، بابایی تیرکلایی، عرفان، (۱۳۹۵). برنامه‌ریزی تخصیص اسكله در پایانه کانتینری بندر شهید رجایی. صنعت حمل و نقل دریایی، ۲(۱)، ۴۱-۴۷.

- [۴] جمشیدی، سمانه، یزدانی، مهدی. (۱۳۹۶). مدل‌سازی مساله تخصیص اسکله گسسته در پایانه‌های کانتینری و حل آن به وسیله الگوریتم ژنتیک. سومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت و مهندسی صنایع، تهران، دانشگاه مقدس اردبیلی.
- [۵] محمدپور عمران، محمد، حسینی، سید فرزاد. (۱۳۹۶). استفاده از الگوریتم علف‌های هرز برای حل مساله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله به کشتی‌ها در بنادر کانتینری. فصلنامه دریا فنون، ۲(۳)، ۸۵-۹۶.
- [۶] محرمی، مسعود. (۱۳۹۵). مساله تخصیص اسکله به کشتی‌ها در اسکله‌های ترمینال‌های کانتینری. هجدهمین همایش صنایع دریایی، جزیره کیش، انجمن مهندسی دریایی ایران.
- [۱۷] محمدپور عمران، محمد، حسینی، سید فرزاد، محرمی، مسعود، ابوعلی، سیامک. (۱۳۹۸). زمان بندی کامیون‌ها در فرابارانداز چندگانه برای کاهش تاخیرات با استفاده از الگوریتم فراابتکاری رقابت استعماری. تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۱۶(۱)، ۶۹-۹۱.

- [۱۸] سموئی، پروانه، فتاحی، پرویز. (۱۳۹۶). مقایسه و تحلیل بر استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مسایل زمان‌بندی تولید کارگاهی. تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۱۴(۱)، ۶۳-۷۶.

- [7] Kordić, S., Davidović, T., Kovač, N., Dragović, B., (2016). Combinatorial approach to exactly solving discrete and hybrid berth allocation problem. *Applied Mathematical Modelling*.
- [8] Ting, C. J., Wu, K. C., Chou, H., (2014). Particle swarm optimization algorithm for the berth allocation problem. *Expert Systems with Applications*, 41(4, Part 1), 1543-1550.
- [9] Bierwirth, C., Meisel, F., (2015). A follow-up survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals. *European Journal of Operational Research*, 244(3), 675-689.
- [10] Hammouti, I., Merouani, M., Lajjam, A., (2018). Solving the hybrid berth allocation problem using a bat-inspired algorithm, 4th International Conference on Optimization and Applications.
- [11] Buhrkal, K., Zuglian, S., Ropke, S., Larsen, J., Lusby, R., (2011). Models for the discrete berth allocation problem: a computational comparison. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47, 461-473.
- [12] Imai, A., Nishimura, E., Papadimitriou, S., (2001). The dynamic berth allocation problem for a container port. *Transportation Research Part B: Methodological*, 35(4), 401-417.
- [13] Liang, C., Guo, J., Yang, Y., (2011) Multi-objective hybrid genetic algorithm for quay crane dynamic assignment in berth allocation planning. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22, 471-479.
- [14] Han, X. l., Lu, Z. q., Xi, L. f., (2010). A proactive approach for simultaneous berth and quay crane scheduling problem with stochastic arrival and handling time, *European Journal of Operational Research*, 207, 1327-1340.
- [15] Jiao, X., Zheng, F., Lio, f., Yinfeng, X, (2018). Integrated Berth Allocation and Time-Variant Quay Crane Scheduling with Tidal Impact in Approach Channel, *Discrete Dynamics in Nature and Society*.
- [16] Barbosa, F., Rampazoo, P., yamakami, A., Camanho, A, (2019). The use of frontier techniques to identify efficient solutions for the Berth Allocation Problem solved with a hybrid evolutionary algorithm, 107, 43-60.

## پیوست ۱.

در دیتای اول ۲۰ کشتی ابتدایی از جدول مشخصات کشتی و در دیتای دوم ۳۰ کشتی ابتدایی از جدول مزبور و به همین منوال در ادامه، استفاده شده است.

جدول الف. طول اسکله‌ها و تعداد کشتی و اسکله

| شماره دیتا | تعداد کشتی | طول اسکله | تعداد اسکله |
|------------|------------|-----------|-------------|
| ۱          | ۲۰         | ۱۰۰       | ۳           |
| ۲          | ۳۰         | ۱۵۰       | ۳           |
| ۳          | ۴۰         | ۱۸۰       | ۳           |
| ۴          | ۵۰         | ۲۰۰       | ۳           |
| ۵          | ۶۰         | ۲۵۰       | ۳           |

جدول ب. مشخصات کشتی‌ها

| s  | p  | a  | i  |
|----|----|----|----|
| ۱۰ | ۱۵ | ۷  | ۱  |
| ۵۰ | ۹  | ۲۵ | ۲  |
| ۷۰ | ۸  | ۲۲ | ۳  |
| ۴۰ | ۱  | ۳۴ | ۴  |
| ۶۰ | ۱۱ | ۱۱ | ۵  |
| ۱۰ | ۲۸ | ۲  | ۶  |
| ۳۰ | ۱۵ | ۹  | ۷  |
| ۶۰ | ۱۴ | ۳  | ۸  |
| ۳۰ | ۱  | ۱۷ | ۹  |
| ۲۰ | ۱۳ | ۱۷ | ۱۰ |
| ۲۰ | ۴  | ۳۳ | ۱۱ |
| ۱۰ | ۱۷ | ۱۶ | ۱۲ |
| ۵۰ | ۱۲ | ۱۰ | ۱۳ |
| ۳۰ | ۳۵ | ۱  | ۱۴ |
| ۶۰ | ۲۱ | ۷  | ۱۵ |
| ۳۰ | ۱۲ | ۱۶ | ۱۶ |
| ۷۰ | ۲  | ۴  | ۱۷ |
| ۴۰ | ۲  | ۲  | ۱۸ |
| ۲۰ | ۲۸ | ۱  | ۱۹ |
| ۵۰ | ۱۴ | ۲۰ | ۲۰ |
| ۲۰ | ۵  | ۲۳ | ۲۱ |
| ۶۰ | ۱۰ | ۱۶ | ۲۲ |
| ۸۰ | ۹  | ۲۸ | ۲۳ |
| ۴۰ | ۲  | ۳۸ | ۲۴ |
| ۱۰ | ۷  | ۳۷ | ۲۵ |
| ۵۰ | ۵  | ۲۴ | ۲۶ |
| ۷۰ | ۱۱ | ۳۴ | ۲۷ |
| ۹۰ | ۱۳ | ۱۹ | ۲۸ |

|    |    |    |    |
|----|----|----|----|
| ۲۹ | ۳۰ | ۹  | ۳۰ |
| ۳۰ | ۴۱ | ۲  | ۳۰ |
| ۳۱ | ۲۶ | ۲  | ۶۰ |
| ۳۲ | ۲۷ | ۹  | ۳۰ |
| ۳۳ | ۳۱ | ۹  | ۲۰ |
| ۳۴ | ۳۹ | ۳  | ۴۰ |
| ۳۵ | ۳۲ | ۷  | ۲۰ |
| ۳۶ | ۳۶ | ۷  | ۱۰ |
| ۳۷ | ۱۳ | ۱۳ | ۳۰ |
| ۳۸ | ۴۲ | ۱  | ۵۰ |
| ۳۹ | ۱۵ | ۳  | ۲۰ |
| ۴۰ | ۲۰ | ۹  | ۶۰ |
| ۴۱ | ۲۱ | ۶  | ۴۰ |
| ۴۲ | ۱۷ | ۷  | ۵۰ |
| ۴۳ | ۳۳ | ۲  | ۲۰ |
| ۴۴ | ۳۵ | ۵  | ۱۰ |
| ۴۵ | ۲۵ | ۸  | ۴۰ |
| ۴۶ | ۱۴ | ۱۲ | ۱۰ |
| ۴۷ | ۴۰ | ۳  | ۵۰ |
| ۴۸ | ۱۸ | ۱۶ | ۶۰ |
| ۴۹ | ۲۲ | ۶  | ۱۰ |
| ۵۰ | ۲۹ | ۷  | ۳۰ |
| ۵۱ | ۶  | ۹  | ۲۰ |
| ۵۲ | ۱۱ | ۳  | ۵۰ |
| ۵۳ | ۱۱ | ۱  | ۲۰ |
| ۵۴ | ۳۶ | ۳  | ۳۰ |
| ۵۵ | ۱۲ | ۴  | ۵۰ |
| ۵۶ | ۴۳ | ۱  | ۱۰ |
| ۵۷ | ۸  | ۱۳ | ۴۰ |
| ۵۸ | ۴۶ | ۳  | ۲۰ |
| ۵۹ | ۱۰ | ۱۵ | ۴۰ |
| ۶۰ | ۱۵ | ۵  | ۶۰ |