

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

محمد سرایی^{۱*}، پروانه منصوری^۲

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 جرتفیل‌ها، 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 GA، DE 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 زنجیره‌تأمین، همواره مورد توجه بوده‌اند. افزایش سرعت و کاهش زمان انجام عملیات بندری و دریایی، از مشخصه‌های مهم بنادر توسعه‌یافته 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

می‌تواند در این زمینه راهگشا باشد. حمل و نقل دریایی نقش مهمی را در زنجیره تأمین بین المللی بازی می‌کند و تأثیر مهمی در اقتصاد جهانی دارد. 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 آن‌ها 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. بنابراین مساله تخصیص اسکله‌ها که به منظور انجام عملیات تخلیه و بارگیری استفاده می‌شود به دنبال تخصیص کشتی‌ها به اسکله‌ها با توجه به مشخصات کشتی و اسکله می‌باشد. بنابراین در این مساله با توجه به فضای بزرگ مساله استفاده از الگوریتم‌های جستجو و بهینه‌سازی روشی مناسب در برخورد با مساله زمان‌بندی اسکله می‌باشد. در کشور ایران نیز با توجه به وسعت دریاها و وجود بنادر مختلف بخش قابل توجهی از صنعت حمل و نقل توسط بنادر و پایانه‌های کانتینری صورت می‌پذیرد. بنابراین پژوهش‌های بسیاری در حیطه افزایش کارایی در زمینه‌های مختلف بنادر و همچنین در برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پهلوگاه صورت پذیرفته است. محمدپور و همکاران [۲] برای زمان‌بندی اسکله با در نظر گرفتن زمان‌بندی جرثقیل‌ها و وسایل حمل و نقل از یک مدل خطی صحیح مختلط بهره بردند. آنها پاسخ‌های ممکن را با استفاده از یک آرایه چند بعدی با ابعاد اسکله‌ها و کشتی‌های تخصیص داده شده و همچنین آرایه تک بعدی که هر درایه نشانگر یک کشتی و مقدار درایه نشانگر تعداد جرثقیل می‌باشد، مدل نمودند. داداشی و همکاران [۳] در پژوهشی یک مدل ریاضی خطی صحیح مختلط به منظور برنامه‌ریزی پهلوگاه با رویکرد مرکب و با زمان ورود دینامیک که قادر به برنامه‌ریزی هم زمان چند پایانه در یک بندر می‌باشد، پیشنهاد نمودند. ارزیابی مدل پیشنهادی نشانگر کاهش چشمگیر تأخیر بود. جمشیدی و یزدانی [۴] در پژوهشی، تخصیص اسکله به کشتی را برای اولین بار با هدف حداقل کردن هم‌زمان هزینه جا به جایی کانتینرها و زمان انتظار کشتی‌ها در بندر با توجه به مطابقت عمق کشتی با عمق آب پهلوگاه و تطابق طول کشتی با طول پهلوگاه در نظر گرفتند و سپس مدل ریاضی جدیدی ارائه نموده و برای یافتن جواب بهینه مساله، از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک بهره گرفتند. محمدپور و حسینی [۵] مساله تخصیص پهلوگاه‌های اسکله به کشتی‌ها را بررسی و مدل بررسی کرده را با استفاده از الگوریتم علف‌های هرز حل نمود. در انتها کارایی الگوریتم پیشنهادی با نتایج حاصل از نرم‌افزار تجاری GAMS مقایسه شده و نتایج نشان داد که الگوریتم پیشنهادی علاوه بر کیفیت بالای نتایج، به خصوص در مسایل با اندازه بزرگ، سرعت حل بسیار بالاتری نسبت به نرم افزار GAMS دارد. محرمی [۶] در پژوهشی مساله تخصیص پیوسته و پویایی اسکله با هدف به حداقل رساندن مجموعه زمان شناوری وزن دار را مورد مطالعه قرار داد. محرمی در این پژوهش یک روش کارا را برای موقعیت‌دهی کشتی‌های بعدی که وارد اسکله می‌شوند به کمک نمودار زمان فضا مدل‌سازی کرده است و سپس به کمک الگوریتم فراابتکاری به جستجوی جواب بهینه پرداخته است. پارامترهای تاثیرگذار بر عملکرد الگوریتم‌های فراابتکاری ژنتیک و رقابت استعماری با به کارگیری روش RSM تنظیم شده است. نهایتاً کارایی این دو الگوریتم در حل مثال‌های عددی مقایسه 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 کشتی‌ها 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 برنامه‌ریزی صحیح و الگوریتم PSO استفاده کردند.

سایادیک و دولگو [۹] در سال ۲۰۱۵ از الگوریتم NSGA-II جهت حل مدل چندهدفه برنامه‌ریزی کشتی‌ها استفاده نمودند. برنامه‌ریزی با توجه به میزان گسسته اسکله در دسترس و با توجه به اولویت کشتی‌ها انجام شد. هموتی و همکاران نیز مساله تخصیص اسکله را با استفاده از الگوریتم خفاش با در نظر گرفتن نوع اسکله برای خدمت‌دهی هم‌زمان بیش از یک کشتی مورد بررسی قرار دادند. هموتی و همکاران از داده‌های 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 ارائه شده در مساله تخصیص پهلوگاه‌های 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 برنامه‌ریزی صحیح مختلط می‌باشد و در سال ۲۰۰۱ ارائه شده است. در این مدل تابع هدف، مجموع زمان انتظار و زمان عملیات تخلیه و بارگیری کمینه می‌شود. ایمی و همکاران از الگوریتم آزادسازی لاگرانژ برای حل مدل فوق بهره بردند و اثبات کردند که مدل ارائه شده جهت حل مسایل دنیای واقعی مناسب می‌باشد.

لیانگ و همکاران [۱۳] در سال ۲۰۱۱ از الگوریتم ژنتیک چندهدفه و یک مدل برنامه‌ریزی صحیح مختلط غیرخطی برای حل مساله تخصیص اسکله بهره بردند. در این مدل تخصیص جرثقیل‌ها لحاظ شده و زمان عملیات هر کشتی وابسته به تعداد جرثقیل‌های تخصیص یافته می‌باشد. اهداف مساله کمینه‌سازی مجموع زمان سرویس و انتظار و تاخیر کشتی‌ها و کمینه‌سازی جابجایی جرثقیل‌ها میان اسکله‌ها است.

هان و همکاران [۱۴] در سال ۲۰۱۰ مدلی پویا جهت ورود کشتی‌ها ارائه دادند که کشتی‌ها جهت دریافت خدمات دارای اولویت متفاوت می‌باشند. در این پژوهش جرثقیل‌ها در هنگام پهلوگیری کشتی جهت ارائه سرویس می‌توانند از یک کشتی به کشتی دیگر منتقل شوند. اما تعداد جرثقیل‌هایی که به هر کشتی خدمت می‌دهند در هر لحظه ثابت فرض شده است. زمان ورود و سرویس کشتی‌ها 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 برده‌اند. حل مساله تخصیص و زمانبندی آن با روش‌ها و الگوریتم‌های ترکیبی نیز در [۱۵] بسیار مورد بررسی قرار گرفته است. جیائو و همکاران مساله تخصیص را با استفاده از ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام شیهه‌سازی تبرید مورد بررسی قرار داده‌اند. باربوسا و همکاران [۱۶] از ترکیب الگوریتم‌های تکاملی برای حل مساله بهره بردند. تحقیقات بسیاری در سطح جهانی در حیطه برنامه‌ریزی و زمانبندی موضوعات مختلف انجام شده است،

به طوری که مسایل زمان‌بندی همواره به عنوان چالش مورد بررسی محققان قرار می‌گیرد. به عنوان مسایل زمان‌بندی پروژه‌ها، زمان‌بندی وسایل نقلیه [۱۷]، زمان‌بندی دروس دانشگاهی یا زمان‌بندی تولید کارگاهی [۱۸] از جمله این مسایل است.

۲ مدل‌سازی

مدل ریاضی انتخاب شده مساله تخصیص اسکله (Berth allocation) نام دارد که در آن به تخصیص اسکله به یک سری کشتی با یک افق زمانی مشخص اشاره می‌شود. در این زمینه می‌توان چندین هدف مانند مینیم کردن زمان سرویس کشتی‌ها، مینیم کردن زمان ماندن در بندر، مینیم کردن تعداد کشتی‌های رد شده، مینیم کردن انحراف بین زمان‌بندی برنامه‌ریزی شده و واقعی را در نظر گرفت. هدف این مدل اما تخصیص بهینه کشتی‌ها در بندر است به طوری که زمان بارگیری کشتی‌ها مینیم شود. محدودیت‌های زمانی محدودیت‌هایی هستند که به زمان ورود کشتی‌ها مربوط و به دو دسته زمان ورود استاتیک و زمان ورود دینامیک تقسیم می‌شوند. در زمان ورود استاتیک فرض می‌شود در ابتدای افق زمانی تمامی کشتی‌ها در بندر وجود دارند. در زمان ورود دینامیک فرض می‌شود که کشتی‌ها به مرور زمان وارد می‌شوند و در ابتدای افق زمانی لزوماً در بندر وجود ندارند. محدودیت‌های مکانی موقعیت‌های پهلوگیری عملی کشتی‌ها را با توجه به تقسیم‌بندی از پیش تعیین شده اسکله به پهلوگاه‌ها محدود می‌کنند. محدودیت‌های مکانی به سه دسته گسسته، پیوسته و مرکب تقسیم می‌شوند. در رویکرد گسسته، اسکله به پهلوگاه‌های مجزایی تفکیک می‌شود. در هر پهلوگاه و در زمان واحد تنها یک کشتی می‌تواند مورد سرویس‌دهی قرار گیرد. در رویکرد پیوسته، هیچ تقسیم‌بندی در اسکله صورت نمی‌گیرد یعنی کشتی‌ها می‌توانند در موقعیت‌های دلخواه در طول اسکله پهلوگیری نمایند. در رویکرد مرکب نیز مانند رویکرد گسسته، اسکله اصلی به پهلوگاه‌هایی تقسیم می‌شود، با این تفاوت که کشتی‌های بزرگ می‌توانند بیش از یک پهلوگاه را اشغال نمایند یا کشتی‌های کوچک می‌توانند یک پهلوگاه را به اشتراک گذارند. در پژوهش حاضر مدل‌سازی برای حالت دینامیک و رویکرد مکانی مرکب انجام شده است.

پارامترها در مساله تخصیص اسکله به شرح زیر می‌باشد:

N_s : تعداد اسکله‌ها

S : طول هر اسکله

T : طول افق زمان‌بندی

N : تعداد کل کشتی‌های ورودی

p_i : زمان پردازش کشتی i

s_i : سایز کشتی i

a_i : زمان ورود کشتی 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

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

δ_{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 عملكرد 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. بنا بر 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.

ω : 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 ω تمايل دارد به مولكول ω' 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؛ بنا بر اين تنها تبديل انرژي PE و KE در طی فرايندهاي شيميايي به يكدیگر امكان‌پذير مي‌باشد. الگوريتم CRO با يك بافر مركزي انرژي كار مي‌كند. به طوري كه با پيشرفت الگوريتم، مقدار KE کاهش 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 درگير 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 ω به مولکول ω' 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)، ω و PE و KE همان مقادیر قبلی باقی می‌مانند و در صورت برقراری شرط، ω' به ω 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 ω_1' به دو مولکول ω_1' و ω_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 ω 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 ω'_1 and ω'_τ from ω
۲. Calculate $PE_{\omega'_1}$ and $PE_{\omega'_\tau}$
۳. Let $temp_1 = PE_{\omega'} + KE_{\omega'} - PE_{\omega'_1} - PE_{\omega'_\tau}$
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'_τ
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'_τ
۱۲. else if $temp_1 + buffer \geq 0$ then
۱۳. Success = TRUE
۱۴. Get M_1, M_τ, M_τ and M_τ 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'_τ , 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 ω_1 و ω_2 با هم برخورد می‌کنند و دو مولکول جدید ω'_1 و ω'_2 به ترتیب ایجاد می‌شود که ω'_1 همسایگی ω_1 و ω'_2 همسایگی ω_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 ω_1 و ω_2 بدون تغییر باقی می‌مانند

شبه کد برخورد داخل مولکولی در الگوریتم ۳ آمده است.

 int er_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_{ω_1} and Calculate PE_{ω_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. ω_1 و ω_2 را مولکول‌های اولیه و ω' 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 ω' بیشتر از دو مولکول اولیه است زیرا مقدار PE مربوط به ω' 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 ω from ω_1 and ω_2
۲. Calculate PE_{ω} .
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. ($M', M_2, Success$) = 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 ژنتيک، ازدحام ذرات و ديفرانسل تکاملی 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. بنابراین اولين فرض، دينامیک بودن زمان ورود کشتي‌ها می‌باشد، چرا که در واقعیت هم همین گونه است. فرض بعدي در مورد نحوه برخورد با منابع پهلوگامی می‌باشد. از بين دو نوع رويکرد گسسته و پيوسته، رويکرد پيوسته باعث بهره‌وري بيشتري از منابع پهلوگامی می‌شود و همچنين موجب درگيري منابع بيشتري از اسكله در مقايسه با رويکرد گسسته می‌شود. بنابراین در اين پژوهش ترجيح داده شد از رويکرد پيوسته استفاده شود. اما از آنجايی که بنادر اسكله‌هاي مختلفی را شامل می‌شود، براي برنامه‌ريزی هم‌زمان اسكله‌هاي پایانه، به طوري که فضای اسكله‌ی هر پایانه به صورت پيوسته در نظر گرفته شود نياز به يک رويکرد مرکب براي برخورد با محدوديت مکانی مربوط به فضای اسكله می‌باشد. علاوه بر اين در اين مقاله فرض بر اين است سرويس‌دهی در يک مرحله صورت می‌پذيرد و زمان تاخير در اين مقاله همان زمان انتظار کشتی است. جهت استفاده از الگوريتم‌هاي فراابتکاری 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 قسمتی پيوسته در مرحله نخست استفاده می‌کنيم. به اين ترتيب در صورتی که تعداد کشتی‌ها 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 تصادفی 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 $P+Q-1$ ارايه می‌دهد. به‌طور مثال اگر تعداد کشتی‌ها برابر ۲۰ باشد و تعداد اسكله‌ها ۳ اسكله باشد. يک کدينگ ممکن از پاسخ به‌صورت زیر خواهد بود. (يک آرايه با بيست و دو عضو)

۰/۲۹۲ ۰/۹۲۳۴ ۰/۷۹۴۸ ۰/۷۳۱۷ ۰/۴۸۹۳ ۰/۲۶۳۸ ۰/۰۸۳۸ ۰/۵۶۷۸ ۰/۱۳۸۶ ۰/۴۸۹۸ ۰/۹۳۴۰
 ۰/۷۰۹۳ ۰/۱۵۲۷ ۰/۲۲۴۰ ۰/۶۱۱۰ ۰/۳۱۲۷ ۰/۱۲۰۶ ۰/۵۳۹۱ ۰/۴۳۱۷ ۰/۱۴۹۹ ۰/۸۵۹۴ ۰/۲۶۱۹

پس از مرتب‌سازي ترتيب به‌دست آمده به‌صورت زیر است:

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

اعداد ۱ تا ۲۰ نشانگر کشتی‌ها و اعداد ۲۱ و ۲۲ به‌عنوان جداکننده عمل می‌کنند به‌طوري که اعداد قرار

گرفته از ابتدای آرايه تا جداکننده اول که در ارايه قرار دارد شماره کشتی‌هاي می‌باشند که در اسكله اول پهلو می‌گيرند. اعداد قرار گرفته مابين دو جداکننده که در آرايه قرار دارد شماره کشتی‌هاي می‌باشند که در اسكله دوم پهلو می‌گيرند و اعداد باقی مانده شماره کشتی‌هايی که در اسكله سوم پهلو می‌گيرند. تابع هدف نیز به‌صورت مجموع تاخير در پهلوگيري کشتی‌ها 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 غیر این 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 مینیمم 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 بهبود یافته 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 مورد نیاز 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

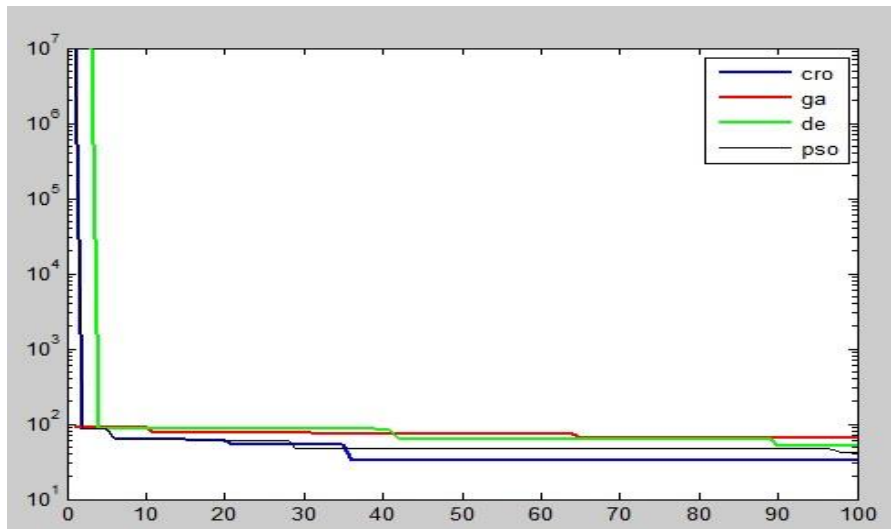
طول اسکله‌ها: در پیوست ۱

مشخصات کشتی‌ها (به ترتیب): در پیوست ۱

داده‌های به کار رفته در این شبیه‌سازی در پنج سایز 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.

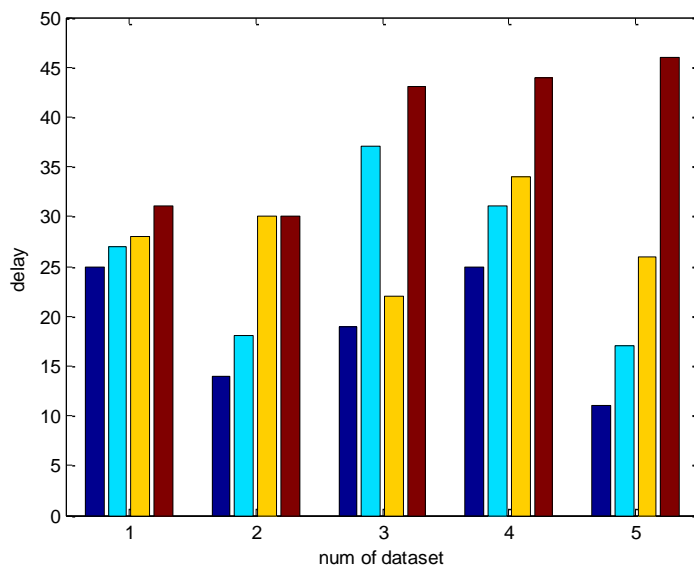
جدول ۱. نتایج عددی حاصل از شبیه‌سازی

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	۵/۷	۴۰/۹۳
	PSO	۲۷	۴۲	۳۱/۳۳	۴/۲۲	۲۰/۹۲۷
	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	۵۰/۵۱
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	۶۰/۷۲۲
	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 این مقاله یک مدل صحیح زمان‌بندی چندین اسکله مورد بررسی قرار گرفت و الگوریتم پیشنهادی زمان سرویس یا خدمت‌دهی مناسبی را در مقابل الگوریتم‌های مورد مقایسه به دست آورد. به عنوان مثال در ستون اول جدول ۱ بهترین زمان سرویس برای الگوریتم‌های واکنش شیمیایی، ازدحام ذرات، ژنتیک و دیفرانسیل تکاملی به ترتیب ۲۸، ۲۵، ۲۷ و ۳۱ در شرایط یکسان پارامترها و تعداد تکرارها به دست آمده است. علاوه بر این الگوریتم پیشنهادی، زمان پاسخ‌دهی (جدول شماره ۱) مناسب‌تری در مقایسه با الگوریتم‌های دیگر مورد بررسی دارد. در این مطالعه اثربخشی روش پیشنهادی، با بررسی پنج مجموعه داده بررسی شد. الگوریتم CRO، یک الگوریتم بسیار موثر برای جستجوی راه حل‌های بهینه برای یک مساله بهینه‌سازی در حوزه جستجو است. الگوریتم CRO یک الگوریتم مبتنی بر جمعیت می‌باشد اما اندازه جمعیت بسته به عملگرهای تجزیه و ترکیب می‌تواند متغیر باشد. این الگوریتم ذاتاً شامل سه عملیات بین‌الملکولی است که باعث تغییر در تعداد جمعیت شده و گاه‌ا الگوریتم را کند کرده و یا برخی عملگرهای ممکن جهت استفاده را غیرقابل استفاده می‌نماید. بنابراین با تلاش جهت حفظ جمعیت الگوریتم در بازه مناسب عملکرد، زمان پاسخ مناسب‌تر حاصل شد. در این پژوهش تلاش شده تا تعداد جمعیت در الگوریتم در بازه خاصی حفظ شود. به این ترتیب که در صورت افزایش جمعیت از میزان تعیین شده 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 به صورت نمایی افزایش می‌یابد. در چنین شرایطی استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری که همه حالت‌های ممکن را بررسی نمی‌کند، کارآمدتر می‌باشد. پیچیدگی الگوریتم پیشنهادی، چند جمله‌ای است و عملکرد کلی الگوریتم (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 الگوریتم چند جمله‌ای است، تعداد عملیات ماتریسی در هر تکرار زیاد است، حال آنکه در روش پیشنهادی با جستجوی مستقیم، بدون هیچ‌گونه عملیات ماتریسی تقریب دلخواهی از جواب یافت می‌شود و تعداد عملیات محاسباتی کاهش می‌یابد.

منابع

- [۱] دیلمی، و وحید، (۱۳۹۲)، بررسی و امکان‌سنجی زیر ساخت‌های فناوری اطلاعات در بندر الکترونیکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه پردیس بین‌الملل گیلان.
- [۲] محمدپور عمران، محمد، حسینی، سید فرزاد، محرمی، مسعود، ابوعلی، سیامک، (۱۳۹۳). ارائه مدلی جدید برای مساله زمان‌بندی اسکله در پایانه‌های کانتینری با در نظر گرفتن تخصیص جرثقیل‌های اسکله و وسایل حمل و نقل. شانزدهمین همایش صنایع دریایی بندر عباس.
- [۳] داداشی، علی، شیخ‌الاسلامی، عبدالرضا، بابایی تیرکلایی، عرفان، (۱۳۹۵). برنامه‌ریزی تخصیص اسکله 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 تحلیلی 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] Buhkal, 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

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

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