تخصیص اسکله با استفاده از الگوریتم بهینه سازی واکنش شیمیایی بهبود یافته

چکیده

پایانه های کانتینری مکان هایی هستند که، محموله ها با استفاده از تجهیزات خاص از نقطه ای به نقطه ی دیگر منتقل می شوند. یکی از مهمترین مسائل در برنامه ریزی عملیات ساحلی در پایانه های کانتینری، مسئله برنامه ریزی پهلوگاه یا اسکله است، که تأثیر بسزایی در برنامه های جرثقیل ها، محوطه، انبار و مسیریابی کامیون ها دارد. این پژوهش شامل یک مدل برنامه ریزی پهلوگاه، با رویکرد برنامه ریزی همزمان چند اسکله در یک بندر می باشد، برای حل این مدل، از الگوریتم بهبود یافته واکنش شیمیایی استفاده شده است. الگوریتم CRO، یک الگوریتم موثر برای جستجو راه حل های بهینه یا نزدیک بهینه است. این الگوریتم دارای جمعیت متغیر است که گاها الگوریتم را کند کرده و یا برخی عملگرهایش را غیر قابل استفاده می نماید. در این پژوهش تلاش شده تا تعداد جمعیت الگوریتم در بازه مناسبی حفظ شود. برای ارزیابی روش پیشنهادی، نتایج زمانبندی حاصل از روش پیشنهادی را با سه الگوریتم DE، GAو PSO بررسی می کنیم. با کاهش انتظار کشتی ها بندر مورد نظر می تواند با افزایش جلب رضایت شرکت های کشتیرانی در رقابت با بنادر نزدیک خود، موفق تر عمل نموده و بهره وری و سود دهی بالاتری داشته باشد.

کلمات کلیدی

پایانه های کانتینری، برنامه ریزی پهلوگاه، تخصیص اسکله، الگوریتم واکنش شیمیایی

۱ مقدمه

بهره گیری از فنون و تکنولوژی های 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 بوده اند. افزایش سرعت و کاهش زمان انجام عملیات بندری و دریایی، از مشخصه های مهم بنادر توسعه یافته و طراز اول جهان است. [۱] با توجه به محدویت فضای اسکله ها و تعداد روزافزون کشتی های وارد شده به اسکله و با توجه به هزینه بالای توقف کشتی ها جهت دریافت سرویس تخلیه و یا بارگیری، استفاده از روشی با ایجاد کمترین تاخیر ممکن می تواند در این زمینه راهگشا باشد. همچنین با توجه به فضای بزرگ مسئله استفاده از الگوریتم های جستجو و بهینه سازی روشی مناسب در برخورد با مسئله زمانبندی اسکله می باشد.

در کشور ایران نیز با توجه به وسعت دریاها و وجود بنادر مختلف بخش قابل توجهی از صنعت حمل و نقل توسط بنادر و پایانه های کانتینری صورت می پذیرد. بنابراین پژوهش های بسیاری در حیطه افزایش کارایی در زمینه های مختلف بنادر و همچنین در برنامه ریزی و زمانبندی پهلوگاه صورت پذیرفته است.

محمد پور و همکاران [۲] برای زمانبندی اسکله با در نظر گرفتن زمانبندی جرثقیل ها و سایل حمل و نقل از یک مدل عدد صحیح مختلط خطی بهره بردند. آنها پاسخ های ممکن را با استفاده از یک آرایه چند بعدی با ابعاد اسکله ها و کشتی های تخصیص داده شده و همچنین آرایه تک بعدی که هر درایه نشانگر یک کشتی و مقدار درایه نشانگر تعداد جرثقیل می باشد، مدل نمودند.

داداشی و همکاران [۳] در پژوهشی یک مدل ریاضی خطی صحیح مختلط به منظور برنامه ریزی پهلوگاه با رویکرد مرکب و با زمان ورود دینامیک که قادر به برنامه ریزی هم زمان چند پایانه در یک بندر می باشد، پیشنهاد نمودند. ارزیابی مدل پیشنهادی نشانگر کاهش چشگیر تاخیر 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 کشتی ها 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 ارایه نموده و برای یافتن جواب بهینه مسئله، از الگوریتم فراابتکاری الگوریتم ژنتیک بهره گرفتند.

محمدپور و حسینی[۵] مسئله تخصیص پهلوگاه های اسکله به کشتی ها را بررسی و مدل بررسی کرده را با استفاده از الگوریتم علف های هرز حل نمود. در انتها کارایی الگوریتم پیشنهادی با نتایج حاصل از نرم افزار تجاری GAMS مقایسه شده و نتایج نشان داد که الگوریتم پیشنهادی علاوه بر کیفیت بالای نتایج، بخصوص در مسائل با اندازه بزرگ، سرعت حل بسیار بالاتری نسبت به نرم افزار GAMS دارد.

محرمی[۶] در پژوهشی مسئله 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 برای موقعیت دهی کشتی های بعدی که وارد اسکله می شوند را به کمک نمودار زمان فضا مدل سازی کرده است و سپس به کمک الگوریتم فراابتکاری به جستجوی جواب بهینه پرداخته شده است پارامترهای تاثیرگذار برعملکرد الگوریتم های فراابتکاری ژنتیک و رقابت استعماری با بکارگیری روش RSM تنظیم شده است. نهایتا کارایی این دو الگوریتم در حل مثالهای عددی مقایسه شده است.

همچنین تحقیقات بسیاری در سطح جهانی در حیطه برنامه ریزی پهلوگاه ها انجام شده است

Davidovic و Kordic [۷] در سال ۲۰۱۶ در پژوهشی جهت حل مسئله تخصیص اسکله با رویکرد گسسته از الگوریتمی با عنوان رسوب بهره بردند که اولین الگوریتم ترکیبی دقیق در راستای حل این مسئله بود.

Ting C-Jو همکاران [۸] در سال ۲۰۱۴ در پژوهشی به حل مسئله تخصیص اسکله پرداختند. هدف آنها به حداقل رساندن زمان سرویس دهی به کشتی ها بود. رویکرد آنها در حل مسئله، تخصیص گسسته پویا بود. به طوری که زمان انتظار کل کمینه گردد. آنها برای این منظور از یک روش برنامه ریزی عدد صحیح و الگوریتم PSO استفاده کردند.

Sasiadek و Dolgui [۹] در سال ۲۰۱۵ از الگوریتم NSGA-II جهت حل مدل چند هدفه 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.

Bierwirth و همکاران [۱۰] در سال ۲۰۱۱ سه مدل اصلی ارائه شده در مسئله 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 Imai و همکاران [۱۱] است که یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط می باشد و در سال ۲۰۰۱ ارائه شده است. در این مدل تابع هدف، مجموع زمان انتظار و زمان عملیات تخلیه و بارگیری کمینه می شود. Imai و همکاران از الگوریتم آزادسازی لاگرانژ برای حل مدل فوق بهره بردند و اثبات کردند که مدل ارائه شده جهت حل مسائل دنیای واقعی مناسب می باشد.

Liang و همکاران [۱۲] در سال ۲۰۱۱ از الگوریتم ژنتیک چند هدفه و یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط غیر خطی برای حل مسئله 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 مسئله کمینه سازی مجموع زمان سرویس و انتظار و تاخیر کشتی ها و کمینه سازی جابجایی جرثقیل ها میان اسکله ها است.

Han و همکاران [۱۳] در سال ۲۰۱۰ مدلی پویا جهت ورود کشتی ها ارائه دادند که کشتی ها جهت دریافت خدمات دارای اولویت متفاوت می باشند. در این پژوهش جرثقیل ها در هنگام پهلوگیری کشتی جهت ارائه سرویس می توانند از یک کشتی به کشتی دیگر منتقل شوند. اما تعداد جرثقیل هایی که به هر کشتی خدمت میدهند در هر لحظه ثابت فرض شده است. زمان ورود و سرویس کشتی ها بصورت تصادفی با توزیع نرمال ایجاد شده است. تابع هدف زمان انتظار بعلاوه 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 مسئله بهره برده اند.

۲ مدلسازی

محدودیت های زمانی محدودیت هایی هستند که به زمان ورود کشتی ها مربوط و به دو دسته زمان ورود استاتیک و زمان ورود دینامیک تقسیم می شوند. در زمان ورود استاتیک فرض می شود در ابتدای افق زمانی تمامی کشتی ها در بندر وجود دارند. در زمان ورود دینامیک فرض می شود که کشتی ها به مرور زمان وارد

بندر می شوند و در ابتدای افق زمانی لزوما در بندر وجود ندارند. محدودیت های مکانی موقعیت های پهلوگیری عملی کشتی ها را با توجه به تقسیم بندی از پیش تعیین شده اسکله به پهلوگاه ها محدود می کنند. محدودیت های مکانی به سه دسته گسسته، پیوسته و مرکب تقسیم می شوند. در رویکرد گسسته، اسکله به پهلوگاه های مجزایی تفکیک می شود. در هر پهلوگاه و در زمان واحد تنها یک کشتی می تواند مورد سرویس دهی قرارگیرد. در رویکرد پیوسته، هیچ تقسیم بندی در اسکله صورت نمی گیرد یعنی کشتی ها می توانند در موقعیت های دلخواه در طول اسکله پهلوگیری نمایند. در رویکرد مرکب نیز مانند رویکرد گسسته، اسکله اصلی به پهلوگاه هایی تقسیم میشود، با این تفاوت که کشتی های بزرگ می توانند بیش از یک پهلوگاه را اشغال نمایند یا کشتی های کوچک می توانند یک پهلوگاه را به اشتراک گذارند. در پژوهش حاضر مدلسازی برای حالت دینامیک و رویکرد مکانی مرکب انجام شده است.

پارامترها در مسئله تخصیص اسکله به شرح زیر می باشد:

nS: تعداد اسکله ها

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 کاملا سمت چپ کشتی j باشد $\sigma_{ij}=1$ در غیر اینصورت $\sigma_{ij}=0$

δ_{ij}: اگر در دیاگرام زمان-فضا کشتی i کاملا بالای کشتی j باشد $\delta_{ij}=1$ در غیر اینصورت $\delta_{ij}=0$

مدل ریاضی ارائه شده مسئله 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 کشتیی ها مینیمم شود. پهلوگیری کشتی ها در زمان و مکان بهینه یکی از مسائل 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.

$$\min \sum_{i-1}^{N} (c_i - (a_i + p_i)) \qquad (۱)$$

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

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 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 الگوریتم واکنش شیمیایی

هر مولکول مجموعه ای از اتم ها و خواصی همچون تعداد است که یک راه حل قابل قبول برای مسئله می باشد. هر مولکول دو نوع انرژی PE و KE را دارا می باشد. مقدار تابع هدف هر مولکول برابر با میزان انرژی PE است.

هر مولکولی w تمایل دارد به مولکول w' تغییر یابد، این تغییر همیشه امکان پذیر است اگر f(w)>=f(w') و در غیر اینصورت تنها در صورت برقراری PEw+KEw>=PEw' تغییر ممکن می شود. در واقع KE توانایی مولکول برای فرار از بهینه محلی است. طبق قانون بقای انرژی، انرژی ایجاد نمی شود و از بین نمی رود بنابراین تنها تبدیل انرژی PE و KE در طی فرایند های شیمیایی به یکدیگر امکان پذیر می باشد. الگوریتم CRO با

یک بافر مرکزی انرژی کار می کند. بطوریکه با پیشرفت الگوریتم، مقدار KE کاهش می یابد. به عبارت دیگر مولکول ها مجبورند که در تکرارهای بعدی ساختار مولکولی با مقدار PE کمتر و کمتر داشته باشند.

واکنش های اصلی در الگوریتم CRO در چهار دسته قرار می گیرند. هر یک از این واکنش ها روشی برای دستکاری انرژی مولکول های درگیر در آن واکنش هستند.

۱-۲ برخورد بی اثر دیواره ای

یک مولکول به دیواره برخورد کرده و بازمی گردد و برخی ویژگی های آن در این برخورد تغییر می کند. در اثر این واکنش مولکول w به مولکول w' تبدیل می شود بطوریکه w'=Neighbor(w) . این تبدیل زمانی مجاز است که رابطه ۲ برقرار باشد:

$$PE_w + KE_w \geq PE_{\acute{w}} \qquad (۲)$$

درصورت عدم برقراری شرط رابطه ۲، w و PE و KE همان مقادیر قبلی باقی می مانند و در صورت برقراری شرط، wبه w' تبدیل می شود بطوریکه رابطه ۳ برقرار شود.

$$KE_{\acute{w}} = (PE_w + KE_w - PE_{\acute{w}}) \times q \qquad (۳)$$

که q عددی بین KELossRate و ۱ می باشد. 1-q نشان دهنده ضریب کاهش KE در محیط هنگام برخورد به دیواره می باشد KELossRate .یک پارامتر سیستم است که حداکثر درصد کاهش KE در هر زمان را محدود می کند. انرژی هدر رفته در بافر ذخیره می شود و انرژی ذخیره شده می تواند در فرایند تجزیه استفاده شود.

شبه کد این واکنش در شکل ۱ آمده است.

ineff_coll_on_wall(M, *buffer*)

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

1. Obtain $\omega' = Neighbor(\omega)$
2. Calculate $PE_{\omega'}$
3. **if** $PE_\omega + KE_\omega \geq PE_{\omega'}$ **then**
4. Get q randomly in interval [*KELossRate*, 1]
5. $KE_{\omega'} = (PE_\omega + KE_\omega - PE_{\omega'}) \times q$
6. Update $buffer = buffer + (PE_\omega + KE_\omega - PE_{\omega'}) \times (1 - q)$
7. Update the profile of M by $\omega = \omega'$, $PE_\omega = PE_{\omega'}$ and $KE_\omega = KE_{\omega'}$
8. **end if**
9. **Output** M and *buffer*

شکل۱. شبه کد برخورد بی اثر دیواره ای

۲-۲ تجزیه

یک مولکول بعد از برخورد به دیواره به دو یا چند مولکول متفاوت تبدیل می شود (فرض بر این است که یک مولکول به دو مولکول تجزیه می شود). مولکول w به دومولکول w'_1 و w'_2 تجزیه می شود. مقدار PE مولکول های حاصل از شرط رابطه ۴ پیروری می کند و در صورت عدم برقراری تجزیه صورت نمی گیرد:

$$PE_w + KE_w \geq PE_{\acute{w}_1} + PE_{\acute{w}_2} \qquad (۴)$$

مقدار KE مولکول های حاصل بصورت زیر می باشد:

$$KE_{\acute{w}_1} = temp1 \times K$$
$$KE_{\acute{w}_2} = temp1 \times (1 - K)$$

که در آن:

$$temp1 = PE_w + KE_w - PE_{\acute{w}_1} - PE_{\acute{w}_2}$$

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

$$PE_w + KE_w + buffer \geq PE_{\acute{w}_1} + PE_{\acute{w}_2} \qquad (۵)$$

اگر شرط رابطه ۵ برقرار بود تجزیه صورت می گیرد و داریم:

$$KE_{\acute{w}_1} = (temp1 + buffer) \times m1 \times m2$$
$$KE_{\acute{w}_2} = (temp1 + buffer - KE_{\acute{w}_1}) \times m3 \times m4$$

که m1 و m2 و m3 و m4 اعداد تصادفی هستند. که با توزیع یکنواخت در بازه صفر و یک تولید شده اند، ضرب کردن m1 در m2 و m3 در m4 تضمین می کند که مقدار KE مولکول های جدید خیلی زیاد نباشد. چرا که مقدار بافر معمولا زیاد است. سپس مقدار بافر با رابطه ۶ بروز رسانی می شود:

$$temp1 + buffer - KE_{\acute{w}_1} - KE_{\acute{w}_2} \qquad (۶)$$

اگر شرط ۴ و ۵ برقرار نباشد تغییرات مجاز نیست و w و PE و KE همان مقادیر قبلی می مانند.

شبه کد مربوط به تجزیه در شکل ۲ آمده است.

decompose(M, *buffer*)

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

1. Obtain ω_1' and ω_2' from ω
2. Calculate $PE_{\omega_1'}$ and $PE_{\omega_2'}$
3. Let $temp_1 = PE_\omega + KE_\omega - PE_{\omega_1'} - PE_{\omega_2'}$
4. Create a Boolean variable *Success*
5. **if** $temp_1 \geq 0$ **then**
6. *Success* = TRUE
7. Get k randomly in interval [0, 1]
8. $KE_{\omega_1'} = temp_1 \times k$
9. $KE_{\omega_2'} = temp_1 \times (1 - k)$
10. Create new molecules M_1' and M_2'
11. Assign ω_1', $PE_{\omega_1'}$ and $KE_{\omega_1'}$ to the profile of M_1', and ω_2', $PE_{\omega_2'}$ and $KE_{\omega_2'}$ to the profile of M_2'
12. **else if** $temp_1 + buffer \geq 0$ **then**
13. *Success* = TRUE
14. Get m_1, m_2, m_3, and m_4 independently randomly in interval [0, 1]
15. $KE_{\omega_1'} = (temp_1 + buffer) \times m_1 \times m_2$
16. $KE_{\omega_2'} = (temp_1 + buffer - KE_{\omega_1'}) \times m_3 \times m_4$
17. Update $buffer = temp_1 + buffer - KE_{\omega_1'} - KE_{\omega_2'}$
18. Assign ω_1', $PE_{\omega_1'}$ and $KE_{\omega_1'}$ to the profile of M_1', and ω_2', $PE_{\omega_2'}$ and $KE_{\omega_2'}$ to the profile of M_2'
19. **else**
20. *Success* = FALSE
21. **end if**
22. **Output** M_1' and M_2', *Success* and *buffer*

شکل۲. شبه کد تجزیه

۲-۳ برخورد بی اثر داخل موکلولی

دو مولکول با هم برخورد کرده و دو مولکول با ویژگی های جدید ایجاد می شود. دو مولکول w1 و w2 با هم برخورد می کنند و دو مولکول جدید w1’ و w2’ به ترتیب ایجاد می شود که w1’ همسایگی w1 و w2’ همسایگی w2 است. این تغییرات قابل انجام است اگر رابطه ۷ برقرار باشد.

$$PE_{w_1} + PE_{w_2} + KE_{w_1} + KE_{w_2} \geq PE_{\acute{w}_1} + PE_{\acute{w}_2} \qquad (۷)$$

و داریم:

$$KE_{\acute{w}_1} = temp2 \times P$$

$$KE_{\acute{w}_2} = temp2 \times (1 - P)$$

که در آن:

$$temp2 = \left(PE_{w_1} + PE_{w_2} + KE_{w_1} + KE_{w_2}\right) - \left(PE_{\acute{w}_1} + PE_{\acute{w}_2}\right)$$

P یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه صفر و یک است. اگر شرط ۷ برقرار نباشد مولکول w1 و w2 بدون تغییر باقی می مانند

شبه کد برخورد داخل مولکولی در شکل ۳ آمده است.

inter_ineff_coll(M_1, M_2)

Input: molecules M_1, M_2 with their profiles.
1. Obtain $\omega_1' = Neighbor(\omega_1)$ and $\omega_2' = Neighbor(\omega_2)$
2. Calculate $PE_{\omega_1'}$ and $PE_{\omega_2'}$
3. Let $temp_2 = (PE_{\omega_1} + PE_{\omega_2} + KE_{\omega_1} + KE_{\omega_2}) - (PE_{\omega_1'} + PE_{\omega_2'})$
4. **if** $temp_2 \geq 0$ **then**
5. Get p randomly in interval [0, 1]
6. $KE_{\omega_1'} = temp_2 \times p$
7. $KE_{\omega_2'} = temp_2 \times (1 - p)$
8. 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 $KE_{\omega_2} = KE_{\omega_2'}$
9. **end if**
10. **Output** M_1 and M_2

شکل ۳. شبه کد برخورد داخل مولکولی

۲-۴ سنتز یا ترکیب

در این فرایند دو (یا چند) مولکول با هم ترکیب می شوند و یک مولکول جدید ایجاد می کنند. w1 و w2 را مولکول های اولیه و w' را مولکول حاصل در نظر بگیرید. اگر شرط ۸ برقرار باشد، عمل ترکیب انجام می گیرد.

$$PE_{w_1} + PE_{w_2} + KE_{w_1} + KE_{w_2} \geq PE_{\acute{w}} \qquad (۸)$$

و داریم:

$$KE_{\acute{w}} = PE_{w_1} + PE_{w_2} + KE_{w_1} + KE_{w_2} - PE_{\acute{w}}$$

در اثر این واکنش مقدار KE مربوط به w' بیشتر از دو مولکول اولیه است زیرا مقدار PE مربوط به w' انتظار میرود که مقداری مشابه PE دو مولکول اولیه داشته باشد. و در نتیجه مولکول حاصل توانایی بیشتری در فرار از بهینه های محلی را دارد.

شبه کد این واکنش درشکل ۴ آمده است.

synthesis(M_1, M_2)

Input: molecules M_1, M_2 with their profiles.
1. Obtain ω' from ω_1 and ω_2
2. Calculate $PE_{\omega'}$
3. Create a Boolean variable *Success*
4. Create a new molecule M'
5. **if** $PE_{\omega_1} + PE_{\omega_2} + KE_{\omega_1} + KE_{\omega_2} \geq PE_{\omega'}$ **then**
6. *Success* = TRUE
7. $KE_{\omega'} = PE_{\omega_1} + PE_{\omega_2} + KE_{\omega_1} + KE_{\omega_2} - PE_{\omega'}$
8. Assign ω', $PE_{\omega'}$ and $KE_{\omega'}$ to the profile of M'
9. **else**
10. *Success* = FALSE
11. **end if**
12. **Output** M' and *Success*

شکل ۵. شبه کد ترکیب

شبه کد الگوریتم CRO در شکل۵ آمده است

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 while**
36. **Output** the overall minimum solution and its function

شکل ۵. شبه کد الگوریتم CRO

۴ روش پیشنهادی

در این پژوهش فرض شده است کشتیها در طول زمان وارد بندر می شوند و باید به محض رسیدن در زودترین زمان ممکن پهلو داده شوند. بنابراین اولین فرض، دینامیک بودن زمان ورود کشتی ها می باشد، چرا که در واقعیت هم همین گونه است. فرض بعدی در مورد نحوه برخورد با منابع پهلوگاهی می باشد. از بین دو نوع رویکرد گسسته و پیوسته، رویکرد پیوسته باعث بهره وری بیشتر از منابع پهلوگاهی می شود و همچنین موجب درگیری منابع بیشتری از اسکله در مقایسه با رویکرد گسسته می شود. بنابراین در این پژوهش ترجیح داده شد از رویکرد پیوسته استفاده شود. اما از آنجاییکه بنادر اسکله های مختلفی را شامل می شود، برای برنامه ریزی همزمان اسکله های پایانه، به طوریکه فضای اسکله ی هر پایانه به صورت پیوسته در نظر گرفته شود نیاز به یک رویکرد مرکب برای برخورد با محدودیت مکانی مربوط به فضای اسکله می باشد.

جهت استفاده از الگوریتم های فراابتکاری پاسخ های ممکن مسئله باید به صورت مدلی به الگوریتم ارائه گردد و برازندگی آن توسط تابع هدف مدل شده در یک فرمول ریاضی مورد بررسی قرار گیرد. در این پژوهش از الگوریتم CRO بهبود یافته و یک کدینگ تک قسمتی پیوسته در مرحله نخست استفاده می کنیم .

به این ترتیب که در صورتی که تعداد کشتی ها P و تعداد اسکله ها Q باشد، هر عضو جمعیت یک آرایه به طول P+Q-1 از اعداد مابین صفر تا یک می باشد که بطور تصادفی در آرایه چیده شده اند. آنچه در این کدینگ حائز اهمیت است این است که ترتیب قرارگیری اعداد در آرایه در صورت مرتب سازی یک جایگشت از اعداد یک تا P+Q-1 ارائه می دهد .

بطور مثال اگر تعداد کشتی ها برابر ۲۰ باشد و تعداد اسکله ها ۳ اسکله باشد. یک کدینگ ممکن از پاسخ بصورت زیر خواهد بود.(یک آرایه با بیست و دو عضو)

0.9340 0.4898 0.1386 0.5678 0.0838 0.2638 0.4893 0.7317 0.7948 0.9234 0.0292
0.2619 0.8594 0.1499 0.4317 0.5391 0.1206 0.3127 0.6110 0.2240 0.1527 0.7093

پس از مرتب سازی ترتیب بدست آمده بصورت زیر است

11 5 17 3 14 21 20 12 6 18 15 7 2 16 4 19 22 8 9 13 10 1

اعداد ۱ تا ۲۰ نشانگر کشتی ها و اعداد ۲۱ و ۲۲ بعنوان جدا کننده عمل می کنند بطوری که اعداد قرار گرفته از ابتدای آرایه تا جدا کننده اول که در ارایه قرار دارد شماره کشتی هایی می باشند که در اسکله اول پهلو میگیرند. اعداد قرار گرفته مابین دو جدا کننده که در آرایه قرار دارد شماره کشتی هایی می باشند که در اسکله دوم پهلو میگیرند و اعداد باقی مانده شماره کشتی هایی که در اسکله سوم پهلو میگیرند.

تابع هدف نیز بصورت مجموع تاخیر در پهلوگیری کشتی ها محاسبه می شود و هدف کاهش این زمان می باشد.

الگوریتم COR شامل سه مرحله می باشد : مرحله اول، مقدار دهی اولیه می باشد که در این مرحله جمعیت اولیه بصورت تصادفی ایجاد می شود جمعیت ممکن بصورت جایگشتی از کشتی ها همچنان که ذکرشد ارائه می گردد و در ادامه پارامترهای الگوریتم مقدار دهی می شوند. درمرحله دوم، عملیات تکرار الگوریتم بارها تکرار می شود و پاسخ ممکن به سمت بهینگی حرکت می کند. در هر تکرار یک برخورد انتخاب می شود، ابتدا تصمیم گیری می شود که یک برخورد درون مولکولی یا یک برخورد تک مولکولی رخ دهد. برای این کار یک عدد تصادفی t بصورت 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 غیراینصورت یک برخورد بین مولکولی رخ خواهد داد. سپس به تعداد مناسب (بسته به اینکه برخورد تک مولکولی است یا بین مولکولی) مولکول از جمعیت بصورت تصادفی انتخاب می شود. برای انتخاب نوع برخورد شرط تجزیه یا ترکیب را بررسی می شود. سپس ایجاد یک نقطه مینیمم جدید بررسی می شود و در صورت وجود ثبت می گردد. و این مراحل تا رسیدن به شرط توقف تکرار می شود .

الگوریتم CRO یک الگوریتم مبتنی بر جمعیت می باشد 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 سازکار الگوریتم در بخش ترکیب ، جمعیت به سمت تک نقطه شدن و در نتیجه عدم امکان استفاده از عملگرهای دو ملکوله می رود. سازکار الگوریتم در بخش تجزیه، جمعیت به سمت افزایش سوق می یابد و الگوریتم کند می شود ما از یک سازکار حذف با استفاده از نخبه گرایی جهت حفظ حداکثر جمعیت استفاده نمودیم به این ترتیب که در صورت افزایش جمعیت از حداکثر تعیین شده تعداد لازم جهت حذف از بدترین پاسخ ها انتخاب و حذف شده و بهترین پاسخ ها حفظ میشوند. جهت پیشگیری از تک نقطه شدن الگوریتم نیز از بهینه سراسری جهت افزایش یک نقطه در محیط تک نقطه شده بهره بردیم.

۵ نتایج

در پژهش حاضر از الگوریتم واکنش شیمیایی بعنوان الگوریتم پایه در روش پیشنهادی بهره بردیم و 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 بصورت تصادفی انتخاب شد و بصورت زیر می باشد:

افق زمانی : ۵۰ روز

تعداد اسکله ها:۳

طول اسکله ها : در پیوست ۱

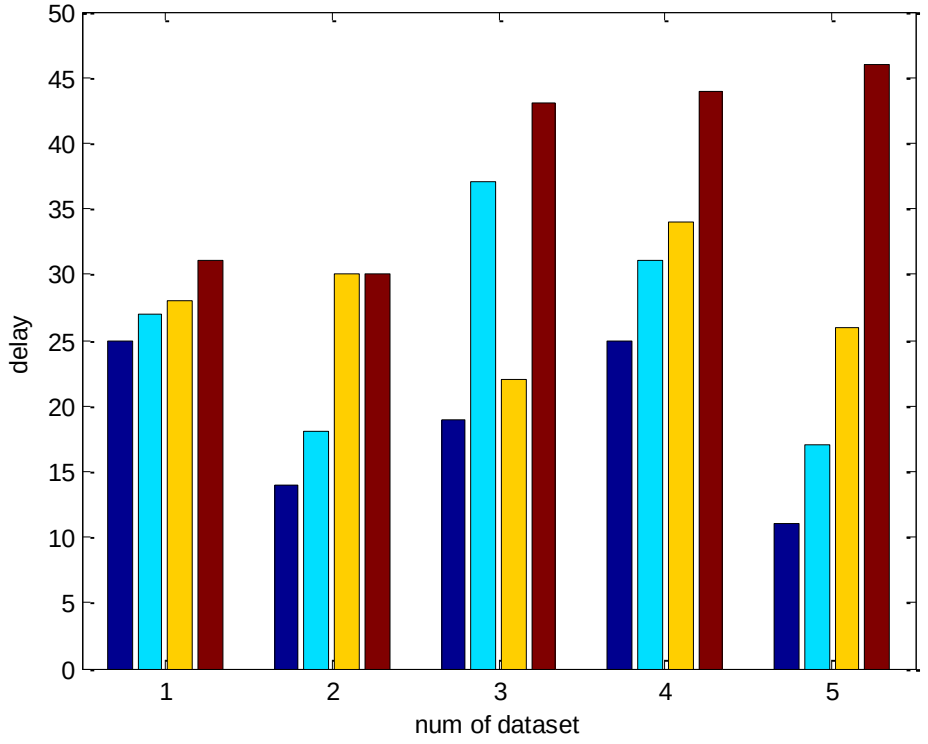
مشخصات کشتی ها (به ترتیب): در پیوست ۱

داده های بکار رفته در این شبیه سازی در پنج سایز مختلف انتخاب شد تا تحلیل مناسبتری از کارکرد روش های مختلف نشان دهد .جدول ۱ نتایج عددی حاصل از شبیه سازی مسئله با روش پیشنهادی و سه الگوریتم مورد مقایسه را به تفکیک دیتا و الگوریتم نشان میدهد.

جدول ۱. نتایج عددی حاصل از شبیه سازی

داده	الگوریتم	بهترین زمان سرویس	بدترین زمان سرویس	میانگین زمان های سرویس	انحراف معیار زمان های سرویس	زمان پاسخ دهی الگوریتم(ثانیه)
1	CRO_opt	25	42	30.1	5.07	40.93
	PSO	27	42	31.33	4.22	209.27
	GA	28	62	40.89	11.87	74.20
	DE	31	44	34.4	3.96	233.07
2	CRO_opt	14	28	20.4	5.17	60.50
	PSO	18	29	21.167	4.16	256.08
	GA	30	55	41.22	8.13	126.6
	DE	30	40	34.2	4.86	397.32
3	CRO_opt	19	26	23.2	1.92	76.61
	PSO	37	44	36.8	6.68	520.19
	GA	22	35	27.6	5.02	168.12
	DE	43	54	46.8	4.26	505.51
4	CRO_opt	25	71	33.1	6.16	136.21
	PSO	31	25	16	6.21	446.12
	GA	34	55	40	7.74	235.21
	DE	44	55	50.2	5.44	670.81
5	CRO_opt	11	40	25.5	10.46	186.51
	PSO	17	27	24.6	2.88	607.22
	GA	26	37	29.42	6.10	226.16
	DE	46	60	51.4	5.72	631.93

نتایج با استفاده از سه الگوریتم ازدحام ذرات و ژنتیک و دیفرانسیل تکاملی پایه و روش پیشنهادی بدست آمده است مقایسه این روش ها نشان می دهد که روش پیشنهادی با دقت بالاتری عمل کرده است و نتایج زمان سرویس و بالطبع تاخیر کمتری را نشان میدهد. در شکل ۶ نمودار میله ای مقایسه بهینه نهایی الگوریتم ها به تفکیک داده ها نشان داده شده است.



شکل۶. نمودار میله ای مقایسه بهینه نهایی الگوریتم ها به تفکیک دیتا

الگوریتم CRO پاسخ بهینه را می یابد. نمودار میله ای مقایسه بهترین پاسخ حاصل از الگوریتم ها بخوبی نشان میدهد الگوریتم CRO کمترین تاخیر را ارائه میدهد. در صورت زمانبندی بصورت دستی زمان تاخیر ها با توجه به تعداد و اندازه و زمان پردازش متنوع کشتی ها بسیار بالا خواهد بود. و زمان لازم جهت زمانبندی روزها بطول می انجامد .

۶ نتیجه گیری

در اینجا یک مدل عدد صحیح زمانبندی چندین اسکله مورد بررسی قرار گرفت و الگوریتم ازدحام ذرات، ژنتیک، دیفرانسیل تکاملی و روش پیشنهادی به مدل اعمال شد. الگوریتم واکنش شیمیایی الگوریتمی نسبتا جدید است که در مقایسه با سه الگوریتم شناخته شده نتایج بهتری ارائه نمود. اثربخشی روش پیشنهادی، با بررسی پنج مجموعه داده بررسی شد.

الگوریتمCRO ، یک الگوریتم بسیار موثر برای جستجو راه حل های بهینه یا نزدیک بهینه برای یک مشکل بهینه سازی در حوزه جستجو است. این الگوریتم ذاتا شامل سه عملیات های بین ملکولی است که باعث تغییر در تعداد جمعیت شده و گاها الگوریتم را کند کرده و یا برخی عملگرهای ممکن جهت استفاده را غیر قابل استفاده می نماید. بنابراین با تلاش جهت حفظ جمعیت الگوریتم در بازه مناسب عملکرد مناسبتر در بازه زمان پاسخ مناسب تر 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 نخبه گرایی جمعیت را کاهش دهیم و در صورت کاهش جمعیت مولکول به جمعیت بیافزاییم .

این روش هیچ پیچیدگی محاسباتی بیش از حدی ندارد. عملکرد کلی الگوریتم (دقت، سرعت همگرایی، پیچیدگی محاسباتی) در مقایسه با الگوریتم مورد مقایسه بسیار رضایت بخش است.

منابع

[۱] دیلمی ، وحید.، (۱۳۹۲)، بررسی و امکان سنجی زیر ساخت های 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 مسئله زمانبندی اسکله در پایانه های کانتینری با در نظر گرفتن تخصیص جرثقیل های اسکله و وسایل حمل و نقل. شانزدهمین همایش صنایع دریایی بندر عباس.

[۳] داداشی، علی.، شیخ الاسلامی، عبدالرضا.، بابایی تیرکلایی، عرفان.، (۱۳۹۵). برنامه ریزی تخصیص اسکله در پایانه کانتینری بندر شهید رجایی. صنعت حمل و نقل دریایی، سال دوم، شماره ۱، بهار ۹۵.

[۴] جمشیدی، سمانه .، یزدانی، مهدی.، (۱۳۹۶). مدلسازی مسئله تخصیص اسکله گسسته در پایانه های کانتینری و حل آن به وسیله الگوریتم ژنتیک. سومین کنفرانس بین المللی مدیریت و مهندسی صنایع، تهران، دانشگاه مقدس اردبیلی.

[۵] محمدپور عمران، محمد.، حسینی، سید فرزاد.، (۱۳۹۶). استفاده از الگوریتم علف های هرز برای حل مسئله تخصیص پهلوگاه های اسکله به کشتی ها در بنادر کانتینری. فصلنامه دریا فنون ۴ (۳).

[۶] محرمی، مسعود.، (۱۳۹۵). مسئله تخصیص اسکله به کشتی ها دراسکله های ترمینالهای کانتینری. هجدهمین همایش صنایع دریایی، جزیره کیش، انجمن مهندسی دریایی ایران.

[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):1543-50.

[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):675-89.

[10] 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, vol. 47, pp. 461-473.

[11] Imai, A., Nishimura, E., Papadimitriou, S., (2001). The dynamic berth allocation problem for a container port. Transportation Research Part B: Methodological, vol. 35, issue 4, 401-417.

[12] 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, vol. 22, pp. 471-479.

[13] 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, vol. 207, pp. 1327-1340.

پیوست ۱:

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

جدول طول اسکله ها و تعداد کشتی واسکله

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 مشخصات کشتی ها

i	a	p	s
1	7	15	10
2	25	9	50
3	22	8	70
4	34	1	40
5	11	11	60
6	2	28	10
7	9	15	30
8	3	14	60
9	17	1	30
10	17	13	20
11	33	4	20
12	16	17	10
13	10	12	50
14	1	35	30

15	7	21	60
16	16	12	30
17	4	2	70
18	2	2	40
19	1	28	20
20	20	14	50
21	23	5	20
22	16	10	60
23	28	9	80
24	38	2	40
25	37	7	10
26	24	5	50
27	34	11	70
28	19	13	90
29	30	9	30
30	41	2	30
31	26	2	60
32	27	9	30
33	31	9	20
34	39	3	40
35	32	7	20
36	36	7	10
37	13	13	30
38	42	1	50
39	15	3	20
40	20	9	60
41	21	6	40
42	17	7	50
43	33	2	20
44	35	5	10
45	25	8	40
46	14	12	10
47	40	3	50
48	18	16	60
49	22	6	10
50	29	7	30
51	6	9	20
52	11	3	50
53	11	1	20
54	36	3	30
55	12	4	50
56	43	1	10
57	8	13	40
58	46	3	20
59	10	15	40
60	15	5	60