مدل زمان‌بندی تخصیص اسکله‌ها در پایانه‌های بارگُنجی

محمد سرایی[۱]، سید علی قاهری[۲]، مرضیه عالی‌محمدی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۳۱ *نویسنده مسئول تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۰۴

© نشریهٔ صنعت حمل‌ونقل دریایی ۱۳۹۸، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریهٔ صنعت حمل‌ونقل دریایی است.

چکیده

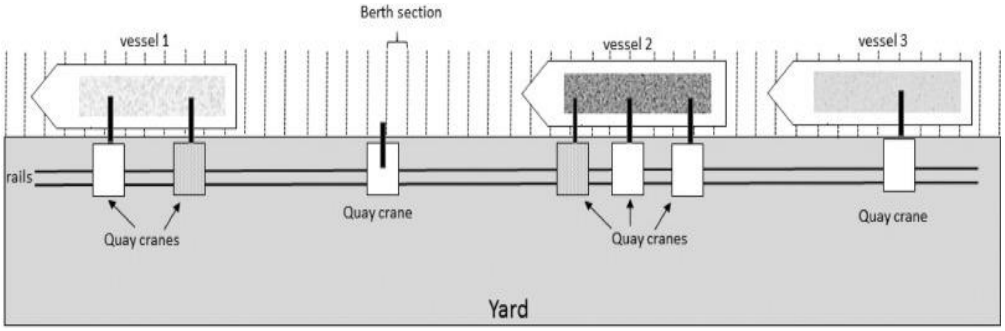
پایانه‌های بارگُنجی مکان‌هایی هستند که در آنها، محموله‌ها با استفاده از تجهیزات خاص از نقطه‌ای به نقطهٔ دیگر منتقل می‌شوند. یکی از مهم‌ترین مسائل در برنامه‌ریزی عملیات ساحلی در پایانه‌های بارگُنجی، مسئلهٔ برنامه‌ریزی پهلوگاه یا اسکله است، چراکه برنامهٔ پهلودهی کشتی‌ها تأثیر بسزایی بر برنامهٔ جرثقیل‌ها، محوطه، انبار و مسیریابی کامیون‌ها دارد. در این پژوهش، مدلی به‌منظور برنامه‌ریزی پهلوگاه با رویکرد برنامه‌ریزی هم‌زمان چند اسکله در یک بندر پیشنهاد شده است. برای ارزیابی مدل پیشنهادی، نتایج زمان‌بندی حاصل از سامانهٔ FCFS (سامانهٔ ورود اولین سرویس، که همان سامانهٔ درنظرگرفته‌شده در حالت زمان‌بندی دستی است) با نتایج زمان‌بندی حاصل از الگوریتم واکنش شیمیایی مقایسه شد. زمان‌بندی مناسب کشتی‌ها برای پهلوگیری در اسکله و کاهش انتظار کشتی‌ها، بندر خرمشهر می‌تواند با افزایش جلب رضایت شرکت‌های کشتیرانی در رقابت با بنادر نزدیک خود، موفق‌تر عمل کند و بهره‌وری و سوددهی بالاتری داشته باشد. در پایان، این روش پیشنهادی با مجموعه‌داده‌های استاندارد موجود مورد تحلیل قرار گرفت. تفاوت تأخیر بین زمان‌بندی دستی و روش پیشنهادی در هنگام کم بودن تعداد کشتی‌های ورودی، به هم نزدیک است، اما با افزایش تعداد کشتی‌های ورودی در افق زمانی ثابت، تفاوت تأخیر میان دو روش افزایش چشمگیری می‌یابد. نتایج حاصل بیانگر کارایی بالای روش پیشنهادی در این پژوهش می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: حمل‌ونقل دریایی، برنامه‌ریزی اسکله، تخصیص اسکله، پایانهٔ بارگُنجی، الگوریتم واکنش شیمیایی.

۱- مقدمه

۱. کارشناس ارشد مهندسی نرم‌افزار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، ادارهٔ کل بندر و دریانوردی خرمشهر، Mohammadsaraei@Gmail.Com
۲. کارشناس ارشد مهندسی نرم‌افزار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر، ادارهٔ کل بندر و دریانوردی خرمشهر، A_ghaheri@Khport.ir
۳. کارشناس اقتصاد و بازرگانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آبادان، ادارهٔ کل بندر و دریانوردی خرمشهر، M_alimohammadi@Khport.ir

پایانه‌های بارگُنجی مکان‌هایی هستند که در آنها، محموله‌ها با استفاده از تجهیزات خاص از نقطه‌ای به نقطهٔ دیگر منتقل می‌شوند. یکی از مهم‌ترین مسائل در برنامه‌ریزی عملیات ساحلی در پایانه‌های بارگُنجی، مسئلهٔ برنامه‌ریزی پهلوگاه یا اسکله است، چراکه برنامهٔ پهلودهی کشتی‌ها تأثیر بسزایی بر برنامه‌های جرثقیل‌ها، محوطه، انبار و مسیریابی کامیون‌ها دارد (شکل (۱)). حمل‌ونقل دریایی، موتور کلیدی تجارت بین‌المللی است. به‌طوری‌که درحدود ۸۰٪ از تجارت بین‌المللی کالا به لحاظ حجم و ۷۰٪ به لحاظ ارزش پولی توسط کشتی و از طریق دریا و راه‌های آبی انجام می‌شود. این سهم برای کشورهای درحال توسعه بیشتر از کشورهای توسعه‌یافته است (کیانی و همکاران، ۱۳۹۱). با افزایش تجارت جهانی، چگونگی بهبود عملکرد پایانه‌ها یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش رو می‌باشد. مسئلهٔ تخصیص اسکله، تخصیص تعدادی کشتی به یک یا چند اسکله در یک افق زمانی است. در این زمینه، می‌توان چند هدف، مانند کمینه کردن مدت‌زمان سرویس کشتی‌ها، کمینه‌کردن مدت‌زمان ماندن در بندر، کمینه‌کردن تعداد کشتی‌های ردشده، کمینه‌کردن انحراف بین زمان‌بندی برنامه‌ریزی شده و واقعی را در نظر گرفت. نیاز به بهینه‌سازی با استفاده از روش‌های پژوهش در عملیات و ریاضیات در پایانهٔ بارگُنجی به مسئلهٔ مهمی در سال‌های اخیر تبدیل شده است. این یک واقعیت است در حال حاضر که حمل‌ونقل به‌ویژه در پایانه‌های بارگُنجی بزرگ، به درجه‌ای از پیچیدگی رسیده است که برای پیشرفت به روش‌های علمی نیاز دارد. امروزه، مسئلهٔ تخصیص اسکله در زمینهٔ بهینه‌سازی ترکیباتی به یکی از دغدغه‌ها و چالش‌های پیش روی پژوهشگران تبدیل شده است. مسئلهٔ تخصیص اسکله یکی از مسائل NP_Hard در حوزهٔ پژوهش در عملیات است و تاکنون پژوهش‌های زیادی برای حل این مسئله انجام شده است.



شکل(۱): نمونه‌ای از پهلوگیری کشتی‌ها در اسکله‌ها

۱-۱- پیشینهٔ پژوهش

استفادهٔ مؤثر و بهینه از ظرفیت و استعدادهای بنادر پلی به سوی پیشرفت‌های اقتصادی و توسعه‌یافتگی است (آنکتاد، ۲۰۱۷). این امر یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی کشورهای توسعه‌یافته مانند هلند، آلمان، انگلستان، سنگاپور و چین است، که با به‌کارگیری امکانات و فناوری‌های مدرن سعی در پیشی گرفتن از یکدیگر هستند (زنگ و یانگ، ۲۰۱۰). دویل و راپ ری پژوهش خود را به‌منظور کاهش مدت‌زمان انتظار کشتی و ترافیک و همچنین، کاهش چشمگیر هزینه‌ها بر افزایش اسکله‌های موجود در بنادر معطوف ساختند. (دویل و راپ ری، ۱۹۷۴). مسئلهٔ برنامه‌ریزی اسکله را علاوه بر حالت استاتیک، در حالت دینامیک نیز فرمول‌بندی کردند. در حالت استاتیک، با توجه به افق برنامه‌ریزی مدل‌ها، تعداد بسیار زیادی متغیر تصمیم وجود داشت. این مدل به گونه‌ای در نظر گرفته شد، که خدمت‌دهی کشتی‌ها به‌صورت متوالی، پی‌درپی و بدون وقفه در هنگام انتقال کشتی به اسکلهٔ دیگر انجام شود. با ارضای این محدودیت، مسئلهٔ برنامه‌ریزی اسکله در حالت استاتیک، به‌صورت مسئلهٔ سه‌بعدی عدد صحیح فرمول‌بندی شد (ایمای و همکاران، ۲۰۰۱).

کوردئو و همکارانش با فرض زمان رسیدن دینامیک از روش مسئلهٔ مسیریابی وسایط نقلیه با پنجرهٔ زمانی برای مدل‌سازی مسئلهٔ برنامه‌ریزی اسکله در دو حالت گسسته و پیوسته استفاده کردند و برای حل هر یک از مدل‌ها، دو الگوریتم جستجوی ممنوعه ارائه دادند (کوردئو و همکاران، ۲۰۰۵). اولچرداندوویک

و همکارانش در پژوهش خود با استفاده از سامانه‌های پویا برای رفتارهای دینامیکی فرایند حمل‌ونقل، به تأیید کارایی مدل‌سازی و با در نظر گرفتن نوع کالا، حجم ترافیک کالا، جهت حرکت کالا و فضای موردنیاز و انبارداری، به پیدا کردن جواب بهینه برای حمل‌ونقل کالا پرداخته‌اند (اولچرداندوویک و همکاران، ۲۰۰۹). آنها اهداف را به‌صورت چندبعدی در نظر گرفته‌اند و مدل‌های شبیه‌سازی را به‌صورت کیفی و کمّی و همچنین، غیرخطی طراحی نموده‌اند. آنها سه زیرسامانهٔ «رسیدن کشتی به اسکله»، «تخلیه و بارگیری کالا از کشتی به اسکله» و «حمل کالا از اسکله به واگن‌ها ، کامیون‌ها و محوطه‌ها و انبارهای داخل بندر» را در مدل خود در نظرگرفته‌اند.

دورنیک و همکاران کارایی مدل‌های شبیه‌سازی را با استفاده از پویایی سامانه در محیط‌هایی مانند سامانهٔ حمل کالا در بندر که رفتارهای پویا دارند، نشان داده‌اند. به‌منظور مدیریت بهینهٔ انبار و جلوگیری از انتظار برای رسیدن کامیون و واگن و همچنین، اجتناب از ایست کامل تخلیهٔ کالا، تعیین سرعت روزانهٔ تخلیهٔ کالا از کشتی، تعداد کامیون‌های موردنیاز روزانه و تعداد واگن‌های موردنیاز روزانه امکان‌پذیر است. علاوه‌براین، تاکنون از روش‌های مختلفی بر پایهٔ الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل این مسئله استفاده شده است، که مانند الگوریتم کلونی مورچگان (چونگ و تان، ۲۰۰۹)، الگوریتم کلونی زنبور عسل (ژانگ و جینگ، ۲۰۱۷)، الگوریتم ژنتیک (مک و ژانگ، ۲۰۰۷)، الگوریتم ازدحام ذرات (تینگ و همکاران، ۲۰۱۴) و جستجوی ممنوعه (ادواردو و همکاران، ۲۰۱۲) از طبیعت الهام گرفته شده‌اند.

۱-۲- بیان مسئله

در این پژوهش، مسئلهٔ تخصیص اسکله با هدف به حداقل رساندن مجموع مدت‌زمان تأخیر در دریافت سرویس مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از طرح این مسئله ارایهٔ مدلی مؤثر برای مسئلهٔ زمان‌بندی تخصیص اسکله‌ها در پایانه‌های بارگُنجی است؛ به‌طوری‌که بتوان مدت‌زمان انتظار کشتی‌ها را کاهش داد و در کمترین مدت‌زمان ممکن، بهترین پاسخ را دریافت نمود. لازم به ذکر است که در این کار به‌منظور محاسبه، از شاخص‌های قابل‌سنجش مانند طول اسکله، زمان ورود و تعداد اسکله استفاده می‌شود و شاخص‌هایی مانند ترافیک لحظه‌ای یا حوادث پیش‌بینی‌نشده نادیده گرفته می‌شود. بنابراین، در این مقاله با توجه به NP-hard بودن مسئله، به‌منظور حل مدل پیشنهادی از یک الگوریتم فراابتکاری استفاده شد و نتایج آن با الگوریتم FCFS مقایسه گردید. به دلیل ماهیت این الگوریتم، روش جدیدی برای تولید جواب طراحی شده است که منجر به کاهش زمان نیز می‌شود.

محدودیت‌های این پژوهش بر دو دستهٔ محدودیت‌های زمانی و مکانی تقسیم می‌شود. محدودیت‌های زمانی، محدودیت‌هایی هستند که به زمان ورود کشتی‌ها مربوط می‌شوند و به دو دستهٔ زمان ورود استاتیک و زمان ورود دینامیک تقسیم می‌شوند. در زمان ورود استاتیک، فرض می‌شود که در ابتدای افق زمانی، همهٔ کشتی‌ها در بندر وجود دارند. در زمان ورود دینامیک، فرض می‌شود که کشتی‌ها به مرور زمان وارد بندر می‌شوند و در ابتدای افق زمانی لزوماً در بندر حضور ندارند. محدودیت‌های مکانی، موقعیت‌های پهلوگیری عملی کشتی‌ها را با توجه به تقسیم‌بندی ازپیش‌تعیین‌شدهٔ اسکله به پهلوگاه‌ها محدود می کنند. محدودیت‌های مکانی به سه دستهٔ گسسته، پیوسته و مرکب تقسیم می‌شوند. در رویکرد گسسته، اسکله به پهلوگاه‌های مجزا تفکیک می‌شود. در هر پهلوگاه و در زمان واحد، فقط یک کشتی می‌تواند سرویس‌دهی شود. در رویکرد پیوسته، در اسکله هیچ تقسیم‌بندی‌ای صورت نمی‌گیرد؛ یعنی کشتی‌ها می توانند در موقعیت‌های دلخواه در طول اسکله پهلوگیری نمایند. در رویکرد مرکب نیز، مانند رویکرد گسسته، اسکلهٔ اصلی به چند پهلوگاه 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 بگذارند.

۱-۳- ادبیات پژوهش

۱-۳-۱- پارامترها و متغیرها

پارامترها در مسئلهٔ تخصیص اسکله به این شرح می‌باشند:

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: اندازهٔ کشتی i

a_i: زمان ورود کشتی i

w_i:وزن تخصیص‌داده‌شده به کشتی i

متغیرهای تصمیم:

u_i: زمان شروع عملیات کشتی i

v_i:موقعیتی که کشتی i پهلوگیری می‌کند

c_i:زمان خروج کشتی i

σ_{ij}: 1 اگر در دیاگرام زمان–فضا کشتی i کاملاً سمت چپ کشتی j باشد؛ درغیراین‌صورت 0

δ_{ij}: 1 اگر در دیاگرام زمان–فضا کشتی i کاملاً بالای کشتی j باشد؛ درغیراین‌صورت 0

۱-۳-۲- مدل ریاضی به تفکیک اسکله

در مدل ریاضی انتخاب‌شده برای مسئلهٔ تخصیص اسکله، به تعدادی کشتی با یک افق زمانی مشخص اشاره می‌شود. در این پژوهش، هدف تخصیص بهینهٔ کشتی‌ها در بنادر است؛ به‌طوری‌که زمان بارگیری و درنتیجه، تأخیر کشتی‌ها کمینه شود. پهلوگیری کشتی‌ها در زمان و مکان بهینه یکی از مسائل مهم در صنعت کشتیرانی است و در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است. مدل ریاضی زیر یکی از همین مدل‌ها است. به‌طوری‌که در تابع هدف یا تابع هزینه این مدل ترکیب خطی مدت‌زمان حضور کشتی‌ها در اسکله کمینه‌سازی می‌شود.

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

$$u_j - u_i - p_i - (\sigma_{ij} - 1).T \geq 0, \qquad \forall 1 \leq i, \quad j \leq N, \; i \neq j$$

$$v_j - v_i - s_i - (\delta_{ij} - 1).S \geq 0, \qquad \forall 1 \leq i, \quad j \leq N, \; i \neq j$$

$$\sigma_{ij} + \sigma_{ji} + \delta_{ij} + \delta_{ji} \geq 1, \qquad \forall 1 \leq i, \quad j \leq N, \; i \neq j$$

$$\sigma_{ij} + \sigma_{ji} \leq 1, \qquad \forall 1 \leq i, \quad j \leq N, \; i \neq j$$

$$\delta_{ij} + \delta_{ji} \leq 1, \qquad \forall 1 \leq i, \quad j \leq N, \; i \neq j$$

$$p_i + u_i = c_i, \qquad \forall 1 \leq i \leq N$$

$$a_i \leq u_i \leq (T - p_i), \qquad \forall 1 \leq i \leq N$$

$$0 \leq v_i \leq (S - s_i), \qquad \forall 1 \leq i \leq N$$

$$u_i, v_i \in R^+, \quad \forall 1 \leq i \leq N$$

$$\sigma_{ij} \in \{0,1\}, \quad \delta_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall 1 \leq i, \quad j \leq N, \; i \neq j$$

تابع هدف، کمینه‌سازی مجموعهٔ موزون زمان پهلوگیری کشتی‌ها در اسکله می‌باشد. محدودیت‌های اول و دوم محدودیت‌های مربوط به زمان و فضای تخصیص کشتی‌ها در اسکله را بیان می‌کند. محدودیت‌های سوم، چهارم و پنجم تضمین می‌کنند که تخصیص کشتی‌ها در اسکله بر روی دیاگرام زمان ـ فضا

دارای هم‌پوشانی نباشد. محدودیت ششم، یک محدودیت محاسباتی برای زمان خروج کشتی‌ها از اسکله[4] است. محدودیت هفتم، محدودیت افق زمانی برنامه‌ریزی است. محدودیت هشتم نیز، محدودیت ظرفیت اسکله یا فضای در دسترس است.

۲- روش تحقیق

در این پژوهش، فرض شده است که کشتی‌ها در طول زمان وارد بندر می‌شوند و باید به محض رسیدن در زودترین زمان ممکن، پهلو داده شوند. بنابراین اولین فرض، دینامیک بودن زمان ورود کشتی‌ها است، چراکه در واقعیت هم همین‌گونه است. فرض بعدی دربارهٔ نحوهٔ برخورد با منابع پهلوگاهی است. از بین دو نوع رویکرد گسسته و پیوسته، رویکرد پیوسته باعث بهره‌وری بیشتر از منابع پهلوگاهی می‌شود و در مقایسه با رویکرد گسسته، موجب درگیری منابع بیشتری از اسکله می‌شود. بنابراین، در این پژوهش ترجیح داده شد که از رویکرد پیوسته استفاده شود. اما ازآنجاکه بنادر اسکله‌های مختلفی دارند، برای برنامه‌ریزی هم‌زمان اسکله‌های پایانه و پیوسته، در نظر گرفتن فضای اسکلهٔ هر پایانه و به‌منظور برخورد با محدودیت مکانی مربوط به فضای اسکله، به یک رویکرد مرکب نیاز است. علاوه‌براین، در این پژوهش، فرض بر این است که سرویس‌دهی در یک مرحله صورت می‌پذیرد و مدت‌زمان تأخیر همان مدت‌زمان انتظار کشتی است.

۲-۱- الگوریتم واکنش شیمیایی

این الگوریتم از عملکرد مولکول‌ها در واکنش‌های شیمیایی برای رسیدن به حداقل انرژی الهام گرفته است و اولین بار توسط آلبرت مطرح شد (آلبرت، ۲۰۱۰). همان‌طور که می‌دانیم، ماده در طبیعت سعی در رسیدن به حداقل سطح انرژی پتانسیل را دارد. فرض می‌شود که مولکول‌ها در یک محیط بسته قرار دارند. بنابراین، یا با هم برخورد می‌کنند، یا به دیوارهٔ ظرف برخورد می‌کنند. این الگوریتم از فرایند و واکنش‌های مولکولی الهام گرفته است. هر مولکول مجموعه‌ای از اتم‌ها و خواصی مانند تعداد است. ما هر مولکول را با یک پروفایل نمایش می‌دهیم، که ویژگی‌های آن مولکول را نمایش می‌دهد.

این ویژگی‌ها عبارتند از:

W: نشان‌دهندهٔ ساختار مولکول یا همان راه حل مفید است.

PE: برای هر مولکول، یک ویژگی انرژی PE تعریف می‌کنیم، که میزان شایستگی هر مولکول را نمایش می‌دهد.

KE: برای هر مولکول، یک ویژگی انرژی KE تعریف می‌کنیم.

numHit: برای هر مولکول، یک ویژگی numHit تعریف می‌کنیم که تعداد برخوردهای هر مولکول را مشخص می‌کند.

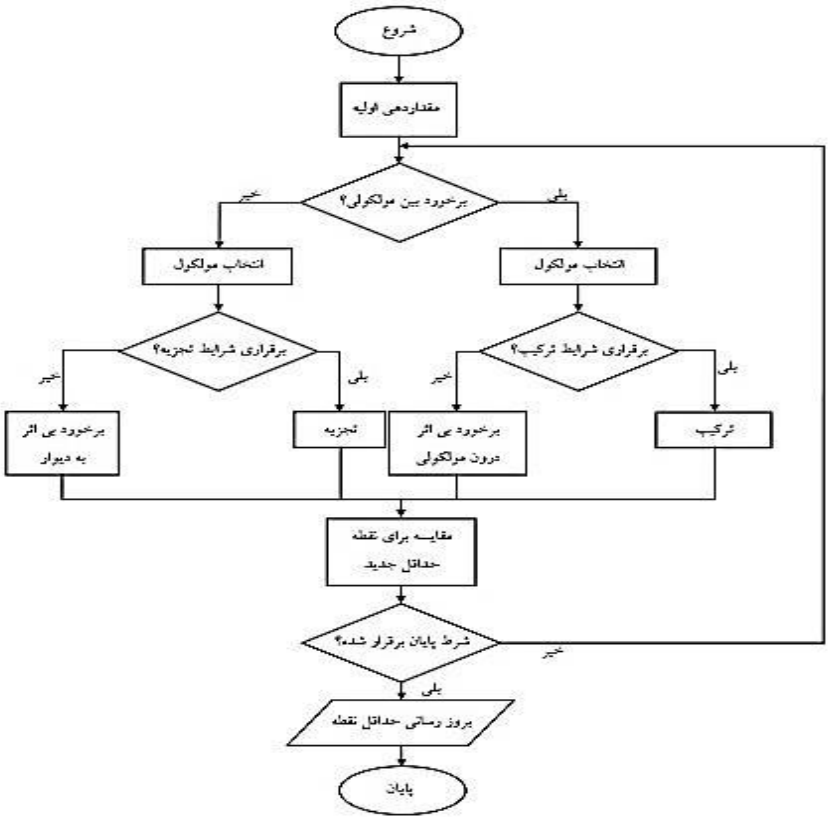
minHit: برای هر مولکول، یک ویژگی minHit تعریف می‌کنیم که حداقل تعداد برخوردها را مشخص می‌کند.

localMin: برای هر مولکول، یک ویژگی localMin تعریف می‌کنیم که از کمینه‌ترین جوابی نگهداری می‌کند که اخیراً این مولکول مشاهده کرده است.

الگوریتم واکنش شیمیاییCRO یک الگوریتم تکاملی است، که از مدل کردن مولکول‌ها و انرژی مولکولی و برخوردهای بین‌مولکولی الهام گرفته شده است. مراحل کار الگوریتم واکنش شیمیایی به این شرح می‌باشد: (۱) نخست پارامترهای الگوریتم واکنش شیمیایی، مقداردهی می‌شود، (۲) سپس، ساخت جمعیت اولیه را انجام می‌شود، برای این کار، در ابتدا برای هر مولکول یک ساختار یا پروفایل تعریف می‌شود و در آن مشخص می‌گردد که هر مولکول چه ویژگی‌هایی دارد. در این مرحله، حلقهٔ اصلی الگوریتم که الگوریتم آن به‌صورت زیر است، بیان می‌شود: الف) تا هنگامی که FE کمتر از FELimit است، این مراحل تکرار گردد: یک عدد تصادفی بین صفر و یک ایجاد شود. اگر این عدد بیشتر از مقدار مولکول باشد، یا اندازهٔ جمعیت ۱ باشد، به مرحلهٔ ۲ برود. درغیراین صورت، به مرحلهٔ ۳ برود، (۳) عمل تجزیه یا برخورد به دیواره روی مولکول اعمال می‌شود. روال کار به این شرح می‌باشد: الف) یک مولکول به‌صورت تصادفی از بین جمعیت انتخاب شود، ب) اگر شرط ترکیب برقرار است، عمل ترکیب روی دو مولکول اعمال گردد و دو مولکول جدید ایجاد شود. اگر عمل ترکیب با

4. completion time

موفقیت اعمال شد، دو مولکول اولیه از جمعیت حذف شود و مولکول جدید به جمعیت اضافه گردد و ج) اگر شرط ترکیب برقرار نیست، عمل برخورد بین‌مولکولی اعمال شود. به این ترتیب، دو مولکول به‌روز می‌گردد و بعد از انجام این مرحله، به مرحله بعد می‌رسیم و (۴) در این مرحله، بین تمام جمعیت جستجو صورت می‌پذیرد. اگر مقدار PE مولکولی کمتر از مقدار global min باشد، آن به‌عنوان بهترین جواب در نظر گرفته می‌وشد. درنهایت، به مرحلهٔ ۱ منتقل می‌شویم. در آخر نیز، هنگامی که حلقهٔ اصلی الگوریتم خاتمه پیدا کرد، جواب‌های یافته‌شده نمایش داده می‌شود.



شکل(۲). فلوچارت الگوریتم واکنش شیمیایی

۳- تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

۳-۱- کدگشایی مسئله (جایگشت ورودی‌ها)

به‌منظور استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری، باید پاسخ‌های ممکن مسئله به‌صورت مدل به الگوریتم ارائه شوند و برازندگی آنها توسط تابع هدف مدل شود در یک فرمول ریاضی مورد بررسی قرار گیرد. در این پژوهش، برای حل مسئله از دو الگوریتم واکنش شیمیایی استفاده شده است، که یکی الگوریتم پیوسته و دیگری، الگوریتمFCFS است. در مرحلهٔ نخست، با توجه به گسسته بودن ماهیت پاسخ‌های ممکن، از یک کدینگ تک‌قسمتی پیوسته استفاده می‌کنیم. به این ترتیب، درصورتی‌که تعداد کشتی‌ها P و تعداد اسکله‌ها Q باشد، هر عضو جمعیت یک آرایه به طول $P + Q - 1$ از اعداد بین صفر تا یک است، که به‌طور تصادفی در آرایه چیده شده‌اند. آنچه در این کدینگ حائز اهمیت است، این است که ترتیب قرارگیری اعداد در آرایه، در صورت مرتب‌سازی، یک جایگشت از اعداد یک تا $P + Q - 1$ ارائه می‌دهد. برای مثال، اگر تعداد کشتی‌ها برابر با ۲۰ و تعداد اسکله‌ها برابر با سه باشد. یک کدینگ ممکن از پاسخ به‌صورت زیر خواهد بود. (یک آرایه با ۲۲ 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

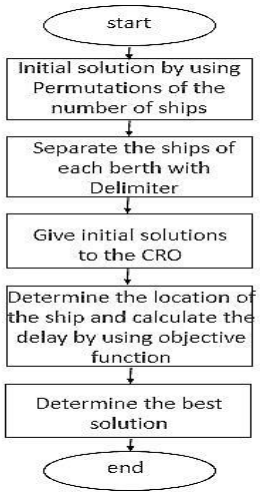
پس از مرتب‌سازی، ترتیب به‌دست‌آمده به‌صورت زیر می شود:

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

اعداد یک تا ۲۰ نشانگر کشتی‌ها و اعداد ۲۱ و ۲۲ به‌عنوان جداکننده عمل می‌کنند؛ به‌طوری‌که اعداد قرارگرفته از ابتدای آرایه تا جداکنندهٔ اول، که در آرایه قرار دارد، شمارهٔ کشتی‌هایی هستند که در اسکلهٔ اول پهلو می‌گیرند. اعداد قرارگرفته بین دو جداکننده که در آرایه قرار دارند، شمارهٔ کشتی‌هایی هستند که در اسکلهٔ دوم پهلو می‌گیرند، و اعداد باقی‌مانده شمارهٔ کشتی‌هایی هستند که در اسکلهٔ سوم پهلو می‌گیرند.

کدینگ تابع هدف:

تابع هدف به‌صورت مجموع زمان‌هایی است که کشتی‌ها در اسکله حضور دارند. هدف، کاهش مدت‌زمان مربوط به زمان ورود کشتی + مدت‌زمان انتظار + مدت‌زمان پردازش می‌باشد. در این روش، با در نظر گرفتن یک پارامتر (w) ، به‌منظور زمان‌بندی اولویت کشتی‌ها تعیین می‌شود. فلوچارت روش پیشنهادی در شکل (۳) آمده است.



شکل (۳): فلوچارت پیشنهادی

مشخصات تقریبی بندر بارگُنجی موردبررسی:

افق زمانی: ۴۰ روز

تعداد اسکله‌ها: ۳

طول اسکله‌ها: ۱۵۰ متر

۳-۲- شبیه‌سازی

در این مطالعه، برای حل مسئلهٔ تخصیص اسکله از الگوریتم واکنش شیمیایی استفاده شد، که یکی از مسائل NP-Hard می‌باشد. نتایج نشان‌دهندهٔ دقت روش پیشنهادی در به دست آوردن پاسخ‌های بهینه‌تر و فرار از کمینه‌های محلی است. گرچه روش پیشنهادی نتایج خوبی ارائه می‌دهد، اما برای به دست آوردن بهترین نتایج به زمان زیادی نیاز است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که برای مسائل مهم که به دقت بسیار نیاز دارند، از این الگوریتم استفاده شود. در این پژوهش، برای حل مسئلهٔ زمان‌بندی تخصیص اسکله به‌وسیلهٔ MATLAB R2013a روی پلت فرمی به مشخصات Intel core i3 با حافظهٔ 4GB،RAM و سیستم‌عامل ویندوز7 از یک روش مؤثر استفاده شده است. برای زمان‌بندی تخصیص اسکله از داده‌های دستی که تقریبی از داده‌های موجود برای کشتی‌های موردمطالعه است، استفاده شد. سپس، روش پیشنهادی یعنی الگوریتم واکنش شیمیایی، با الگوریتم FCFS مقایسه گردید. در مسئلهٔ موردبررسی، اجرا بر روی هر دیتاسِت ۱۰ بار تکرار شده است. نتایج شبیه‌سازی حاکی از این است که روش پیشنهادی برای پیاده‌سازی بسیار انعطاف‌پذیر و بسیار ساده است و یک الگوریتم بهینه‌سازی قوی به شمار می‌آید. هدف از این مسئله کم کردن مدت‌زمان تأخیر کشتی‌ها است؛ به‌طوری‌که در روش پیشنهادی، در بین جمعیتی از پاسخ‌های ممکن پاسخی به‌عنوان پاسخ بهینه انتخاب می‌شود، که مجموع تأخیر کمتری برای همهٔ کشتی‌های ورودی ارائه می‌دهد. برای تعیین پاسخ بهینه از الگوریتم واکنش شیمیایی استفاده شد. این الگوریتم نسبت به سایر الگوریتم‌های هم‌ردهٔ خود عملکرد بهتری دارد و ممکن است برای حل مسائل ترکیباتی سخت با ابعاد بالا راه حل مناسبی باشد. برای دیتاسِت‌هایی با ابعاد بالا، الگوریتم FCFS به‌تنهایی نمی‌تواند راه حل مناسب را به دست آورد، اما الگوریتم پیشنهادی تا زمان رسیدن به پاسخ مطلوب فضای جستجو را می‌پیماید. پارامترهای قابل‌تنظیم برای اجرای الگوریتم روش پیشنهادی در جدول (۱) قابل‌مشاهده است. مشخصات کشتی‌ها نیز در جدول (۲) آمده است. به‌ترتیب I و A و P وS معرف شمارهٔ کشتی، زمان ورود کشتی، زمان پردازش کشتی و طول کشتی است. کارکرد دو الگوریتم FCFS و واکنش شیمیایی برای چهار نمونهٔ دیتاسِت در اندازه‌های مختلف با میانگین ۱۰ بار اجرا مورد مقایسه قرار گرفته است، که نتایج آن در جدول (۳) نشان داده شده است. همچنین، شکل (۴) نمودار همگرایی روش پیشنهادی را در مقایسه با الگوریتم FCFS نشان می‌دهد. در این شکل، محور عمودی روزهای تأخیر و محور افقی بیانگر دیتاسِت است. به‌عنوان مثال، برای دیتای شمارهٔ ۴ بر روی محور افقی در شکل (۳) با روش واکنش شیمیایی مدت تأخیر ۳۱ روز است، حال آنکه در روش FCFS تأخیر ۵۰ روز است که در نمودار به‌خوبی قابل‌مشاهده است. نتایج نشان می‌دهند که اگر تعداد کشتی‌های ورودی در افق زمانی کم باشد، هر دو روش FCFS و الگوریتم واکنش شیمیایی قادر خواهند بود، بهترین زمان‌بندی را با کمترین مدت تأخیر ارائه نمایند. همان‌طور که در جدول (۳) نشان داده شده است، هر دو روش برای ۱۵ کشتی پاسخ بهینه ارائه کرده‌اند. اما با افزایش تعداد کشتی‌های ورودی در افق زمانی ثابت رفته‌رفته تفاوت تأخیر برای سرویس‌دهی به کشتی‌ها میان دو روش افزایش می‌یابد و پاسخ حاصل از الگوریتم واکنش شیمیایی بسیار مناسب‌تر از روش FCFS است. به‌علاوه، در زمان‌بندی دستی، مدت‌زمان بسیار زیادی برای ارائهٔ این برنامه لازم است. همچنین، با افزایش داده‌های موردبررسی امکان وجود خطای انسانی نیز دور از انتظار نیست. اما برنامه‌ریزی با استفاده از الگوریتم پیشنهادی با سرعت بالا، در عرض چند ثانیه و به دور از هرگونه خطا امکان‌پذیر است. شکل (۴) نشان‌دهندهٔ همگرایی بسیار مناسب الگوریتم پیشنهادی برای دیتاهایی با ابعاد بالا است.

جدول(۱). پارامترهای الگوریتم واکنش شیمیایی

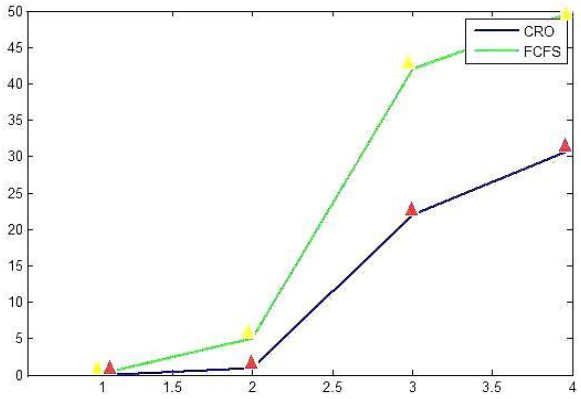
پارامترها	مقادیر
Population size	10
KE Loss Rate	0.1
MoleColl	0.2
Buffer	0
Initial KE	1000
Step Size	0.1

جدول(۲). مشخصات کشتی‌های مورد مطالعه

i	a	p	S
1	7	15	10
2	25	9	5۰
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	4	6	40
22	2	2	20
23	2	1	30
24	25	2	50
25	17	8	30
26	15	9	40
27	30	4	30
28	23	2	50
29	11	5	20
30	1	4	60

جدول(۳). مقایسه تاخیرهای حاصل از الگوریتم CRO و FCFS با ۱۰ بار احرا

تعداد کشتی	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰
مجموع روزهای پردازش	۲۰۴	۲۶۲	۲۷۶	۲۹۰
مجموع تاخیرها در CRO	۰	۱	۲۲	۳۱
مجموع تاخیر در روش FCFS	۰	۵	۴۲	۵۰
زمان ارائه زمانبندی(ثانیه)	۱۲/۳۵	۱۴/۲۰	۱۵/۰۲	۲۳/۵



شکل(٤): مقایسه تابع هزینه الگوریتم‌های FCFS و CRO برای مسئله زمان‌بندی اسکله

٤- نتیجه‌گیری

پایانه‌های بارگُنجی نقش بسیار مهمی در حمل‌ونقل دریایی ایفا می‌کنند. امروزه، با توجه به افزایش روزافزون حجم کالاهای انتقالی از طریق دریا، پایانه‌های بارگُنجی سعی در بهبود عملکرد خود دارند. با رشد سریع حجم کالا و به دلیل اینکه امروزه بیش از ۹۰ ٪ از حمل‌ونقل توسط کشتی‌ها صورت می‌گیرد، نقش پایانه‌های بارگُنجی هر روز پررنگ‌تر می‌شود. مسئلهٔ تخصیص اسکله‌ها یک مسئلهٔ بهینه‌سازی ترکیباتی است و به دستهٔ الگوریتم‌های NP_Hard تعلق دارد. الگوریتم‌های فرااکتشافی قدرت خود را در حل مسئله‌های بهینه‌سازی نشان داده‌اند. در این پژوهش، به‌منظور برنامه‌ریزی پهلوگاه با رویکرد برنامه‌ریزی هم‌زمان چند اسکله در یک بندر، یک مدل دینامیک و مرکب پیشنهاد شده است. برای ارزیابی مدل پیشنهادی، نتایج برنامهٔ زمان‌بندی حاصل از سامانهٔ FCFS را که همان سامانهٔ درنظرگرفته‌شده در حالت زمان‌بندی دستی است، با الگوریتم واکنش شیمیایی که یکی از قوی‌ترین روش‌های بهینه‌سازی تکاملی در سال ۲۰۱۰ معرفی شده است، بررسی کردیم. همان‌طور که در این مقاله بررسی شده است، الگوریتم CRO پاسخ بهینه را می‌یابد. در صورت زمان‌بندی به‌صورت دستی، مدت‌زمان تأخیرها با توجه به تعداد و اندازه و زمان پردازش متنوع کشتی‌ها بسیار بالا خواهد بود. همچنین، ارائهٔ زمان‌بندی روزها به طول می‌انجامد. ازاین‌رو، استفاده از روش‌های فراابتکاری باعث کمینه کردن زمان، نیروی کار و هزینه می‌شوند، که مهم‌ترین هدف حل این مسئله می‌باشد.

مسئلهٔ زمان‌بندی اسکله‌ها یکی از مسائل مهم و اساسی در زمینهٔ مسائل NP-hard است و به نظر می‌رسد که می‌توان رویکرد ترکیب الگوریتم‌ها را بر روش‌های دیگر جستجوی محلی نظیر الگوریتم مورچگان، الگوریتم جستجوی ممنوع و غیر آن نیز اعمال کرد، یا با توجه به پیچیدگی ابعاد بالای مدل مسئله با استفاده از روش‌های منعطف‌تر مثل نرو فازی می‌توان به نتایج مطلوب‌تر دست یافت. سپس، نتایج را با نتایج حاصل از این پژوهش مقایسه کرد و کاربرد آنها را در مسائل خاص، مانند حمل‌ونقل ناوگان و زمان‌بندی اسکله‌ها و جرثقیل‌های اسکله به‌صورت هم‌زمان بررسی کرد. همچنین، رویکرد زمانی در این پژوهش به‌صورت دینامیک و با ورود کشتی‌ها در لحظه بود. رویکرد مکانی در ارائهٔ مکان پهلوگیری کشتی‌ها نیز، رویکردی ترکیبی با در نظر گرفتن سامانهٔ پیوسته در

هر اسکله و سامانهٔ گسسته در اسکله‌های متفاوت بود. انجام زمان‌بندی با رویکرد زمانی و مکانی متفاوت ممکن است نتایج جدیدی دربرداشته باشد، که به نظر بررسی آن خالی از منفعت نمی‌باشد.

مراجع

۱. کیانی‌مقدم، منصور؛ تهمک، حمیدرضا؛ مشایخی، افشین؛ ایرانشاهی، سبحان. (۱۳۹۱). مدل‌سازی عناصر اثرگذار بر زمان انتظار کشتی‌های تجاری با استفاده از تئوری تصمیم‌گیری MADM و روش سلسله‌مراتبی (AHP). اولین همایش ملی توسعهٔ سواحل مکران و اقتدار دریایی جمهوری اسلامی ایران.

2. UNCTAD. (2017). Review of maritime transport. In, New York, New York and Geneva, page 3.
3. Yang, Z., Zeng, Q. (2010). An Approach Integrating Simulation and Q-learning Algorithm for Operation Scheduling in Container Terminals. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.8.
4. De Wielle, J., Ray, A. (1974). The Optimum Port Capacity. Volume_V111_No_3_244.
5. 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.
6. Cordeau, J. F., Laporte, G., Legato, P., Moccia, L. (2005). Models and Tabu search heuristics for the berth allocation problem. Transportation Science, 39, 526- 538.
7. Dundovic, C., Bilic, M., Dvornik, J. (2009).Contribution to the Development of a Simulation Model for a Seaport in Specific Operating Conditions. Promet – Traffic Transportation, Vol. 21, 331-340.
8. Dvornik, J., Munitic, A., Bilic, M. (2006). Simulation Modelling and Heuristics Optimization of Material Flow of the Port Cargo System. PrometTraffic & Transportation, Vol. 18, 123-135.
9. Chun, C., Cheong, Y., Tan, C. (2008). A Multi-Objective Multi-Colony Ant Algorithm for Solving the Berth Allocation Problem. Advances, pp. 333-350.
10. Zhang, F., Jing, L., Chu, L. (2017). Artificial Bee Colony Optimization for Yard Truck Scheduling and Storage Allocation Problem.Lecture Notes in Computer Science, pp. 908-917.
11. Mak, C., Zhang, K. (2007). Scheduling trucks in container terminals using a genetic algorithm. Engineering optimization volume 39, issue 1.
12. Ting, C., Hao Chou, C., Wu, K. (2014). Particle swarm optimization algorithm for the berth allocation problem. Expert, Volume 41, Part 1, Pages 1543-1550.
13. Eduardo, L. R., Belen, M.B., Marcos, M.V. (2012). Friend’s Artificial intelligence hybrid heuristic based on Tabu search for the dynamic berth allocation problem. Engineering Applications of Artificial Intelligence, Volume 25, Issue 6, September, and Pages 1132-1141.
14. Albert, Y. S. Lam., Victor, O. K. Li. (2010). Chemical-Reaction-Inspired Meta heuristic for Optimization. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Volume: 14, Issue: 3.