



دانشکده آمار، ریاضی و علوم رایانه
پردیس شماره ۲ دانشگاه علامه طباطبائی

دفاع پایان نامه

زمانبندی لنگرگیری کشتی‌ها در یک پایانه کانتینری چند اسکله‌ای
با استفاده از الگوریتم جستجوی فاخته تجدید نظر شده

پژوهشگر:

نجمیه سادات صفرآبادی

۴۰۱۱۳۱۴۱۰۳۹

استاد راهنما: دکتر حسن رشیدی

استاد مشاور: دکتر محمد بحرانی

استاد داور: دکتر لطیفه پور محمد باقر

فهرست مطالب ارائه پیش رو

۱. مقدمه

۲. ضرورت و اهمیت تحقیق

۳. انگیزه و اهداف

۴. روش تحقیق

۵. طرح مسئله

۶. اهداف کلی پژوهش

۷. فرضیه‌های پژوهش

۸. انگیزه‌ها و اهداف رویکرد پیشنهادی

۹. ادبیات فنی پژوهش

۱۰. مقایسه روش‌های بهینه سازی

۱۱. نگاهی به روش‌های بهینه سازی چند هدفه

۱۲. توصیف دقیق مسئله

۱۳. مدلسازی مسئله

۱۴. تعریف متغیرها

۱۵. بیان محدودیت‌ها

۱۶. جزییات رویکرد پیشنهادی

۱۷. روش حل پیشنهادی مسئله

۱۸. فضای جستجوی مسئله

۱۹. فضای تصمیم‌گیری و فضای هدف

۲۰. پلات پرتو

۲۱. ویژگی‌های تعریف شده در داده مورد استفاده

۲۲. توصیف کلی سناریوهای مورد آزمایش

۲۳. معیارهای آماری و تابعی جهت ارزیابی

۲۴. نتایج آزمایش اول

۲۵. نتایج آزمایش دوم

۲۶. نتایج آزمایش سوم

۲۷. نتایج آزمایش چهارم

۲۸. نتایج آزمایش پنجم

۲۹. نتایج آزمایش ششم

۳۰. نتایج آزمایش هفتم

۳۱. نتایج آزمایش هشتم

۳۲. تحلیل آنوا الگوریتم

۳۳. نتیجه‌گیری کلی

۳۴. فهرست منابع

❑ کشتی‌های کانتینری به‌طور تدریجی و منظم وارد پایانه‌های دریایی می‌شوند. این فرآیند تحت تأثیر عوامل مختلفی نظیر شرایط جوی، ترافیک دریایی و الزامات امنیتی قرار دارد. بهینه‌سازی این عوامل برای افزایش کارایی و کاهش تأخیرات ضروری است.

❑ عملگرهای پایانه در این شرایط به دنبال تخصیص مؤثر کشتی‌ها به اسکله‌ها و پردازش سریع آن‌ها هستند. هدف اصلی آن‌ها تسریع خروج کشتی‌ها از پایانه دریایی و حفظ انسجام زمان‌بندی است، به گونه‌ای که زمان خروج هر کشتی به حداقل برسد.

❑ مراحل تخصیص لنگرگاه، شامل ورود به اسکله، زمان انتظار، لنگر انداختن، بارگیری، تخلیه بار و خروج است. در طراحی مدل چند اسکله، با وجود چند اسکله در هر ترمینال، تخصیص اسکله و جرثقیل به کشتی‌ها و مدیریت توالی بارگیری و تخلیه باید به دقت انجام شود تا کارایی عملیات به حد حداکثری برسد.

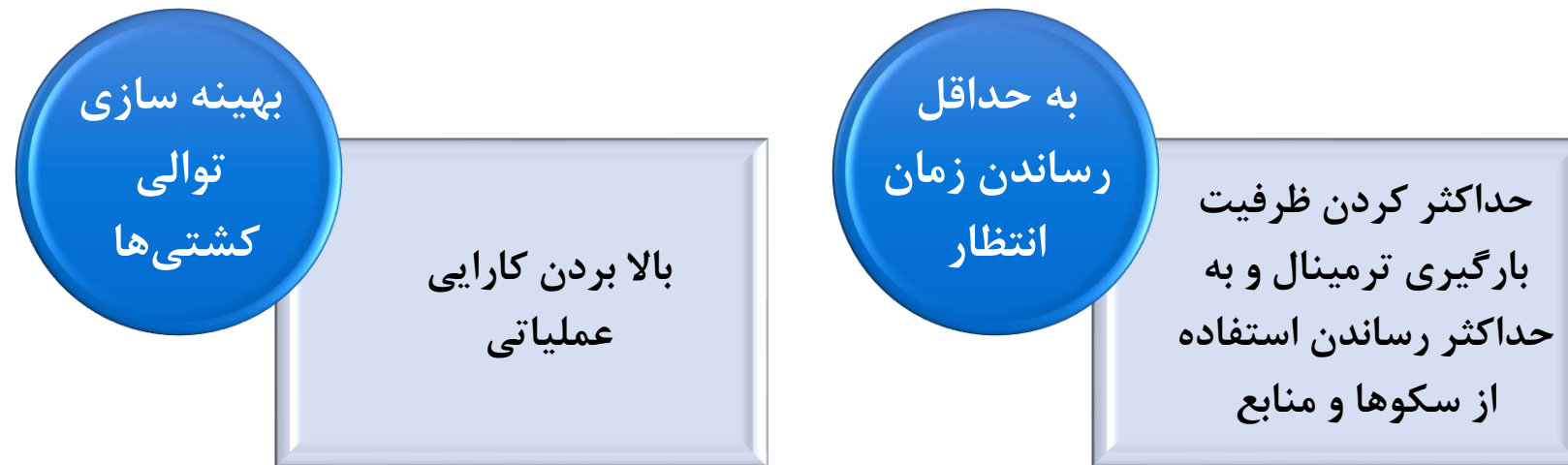


❑ ضرورت و اهمیت این تحقیق از آنجا ناشی می‌شود که در بسیاری از مطالعات، موقعیت لنگرگاه و جرثقیل‌ها به صورت خطی و افقی مدل‌سازی شده است. اگرچه این رویکرد در شرایط نظری مفید به نظر می‌رسد، در عمل، به دلیل پیچیدگی‌ها و محدودیت‌های واقعی، کاربردی نیست. پژوهش حاضر بر تخصیص اسکله و جرثقیل به چند ناحیه لنگرگیری تمرکز دارد که نیاز به طراحی و مدیریت جامع‌تری دارد و می‌تواند به بهبود کارایی عملیات دریایی کمک کند.

❑ در این مساله تابع هدف کمینه کردن هزینه کل خدمات است. این خدمات شامل کمینه کردن زمان انتظار و پناالتی‌های تاخیر در زمان خروج کشتی‌ها است. در این پژوهش کنونی افق تصمیم‌گیری جهت برنامه ریزی یک هفته در نظر گرفته شده است. این را بر اساس موقعیت ورود و خروج کشتی‌ها می‌توان تغییر داد.



- هدف این پژوهش، ارائه تحقیقی جامع و دسته‌بندی مشخصات راه حل‌های ممکن به منظور رسیدگی به مسئله مطرح شده است. حداکثر کردن کارایی عملیات بندر یکی از اولویت‌های مهم و انگیزه‌های اصلی در مدیریت آن است. با حل مشکل تخصیص سکو، بنادر به طور قابل توجهی قابلیت‌های عملیاتی خود را افزایش می‌دهند. به این ترتیب می‌توانند رقابت پذیری خود را حفظ کنند و سطوح بالای از خدمات را ارائه دهند که در محیط سریع السیر حمل و نقل دریایی امروز این بسیار حائز اهمیت است.
- انگیزه‌های اصلی این پژوهش عبارت هستند از:





□ ترکیب این روش‌های تحقیق می‌تواند به ساختارمند کردن پژوهش‌های صورت گرفته در فرآیند تخصیص اسکله‌ها و افزایش کارایی کلی بندرها کمک کند.

□ با توجه به پیچیدگی‌های موجود در این حوزه، به‌کارگیری رویکردهای ترکیبی و متنوع، کلید دستیابی به نتایج بهینه و مؤثر در مدیریت منابع اسکله است.

□ ترمینال های کانتینر دریایی یکی از کلیدی ترین نقش ها را در تجارت بین المللی دریایی ایفا می کنند. مدیریت ورود و خروج کانتینرهای انتقالی کشتی ها چندین چالش را پیش روی ترمینال های کانتینر دریایی می گذارد [۱]. این مشکلات شامل ازدحام ، زمان انتظار طولانی قبل از لنگرگیری ، تاخیر در خروج و هزینه بالای عملیات است.

□ تعریف مسئله تخصیص لنگرگاه به کشتی های ورودی به معنای زمان بندی ترمینال و پنجره های زمانی اسکله ها در محدوده زمانی خدمات رسانی به کشتی ها در ترمینال است. مسئله تخصیص لنگرگاه و جرثقیل به تخصیص موقعیت لنگرگاه به کشتی های ورودی برای کاهش هزینه، هزینه انتظار، تاخیر در خروج کشتی های مربوط می شود.

□ شکل (۲) نمونه ای از تخصیص اسکله در یک پایانه کانتینری را برای ۴ کشتی نشان می دهد. مطابق این شکل، اسکله ۱ در دوره های زمانی ۱ تا ۴ (به عنوان نمونه ۴ روز برای لنگرگیری)، به کشتی اول اختصاص یافته است. همین اسکله در دوره های زمانی ۶ تا ۸ (به عنوان نمونه ۳ روز برای لنگرگیری)، به کشتی دوم اختصاص یافته است. اسکله ۲ در دوره های زمانی ۱ تا ۳ (به عنوان نمونه ۳ روز برای لنگرگیری)، به کشتی سوم و همین اسکله در دوره های زمانی ۴ تا ۸ به کشتی چهارم اختصاص یافته است. از اسکله سوم، بدلیل نامناسب بودن برای این ۴ کشتی، استفاده ای نمی شود.

Time			
..			
8	Ship2	Ship4	
7	Ship2	Ship4	
6	Ship2	Ship4	
5	Ship1	Ship4	
4	Ship1	Ship4	
3	Ship1	Ship3	
2	Ship1	Ship3	
1	Ship1	Ship3	
	اسکله 1	اسکله 2	اسکله 3

هدف مسئله: در مسئله زمان بندی اسکله کنونی، هدف ارائه زمان بندی مناسب جهت تخصیص لنگرگاه به کشتی های ورودی با توجه به ویژگی های هر دوی آنها است. عمل زمان بندی باید به نحوی صورت گیرد که زمان کل عملیات کشتی کمینه شود. جهت کمینه کردن تابع هدف مسئله باید تمام فرضیه ها و محدودیت ها از پیش تعیین شده در نظر گرفته شود.

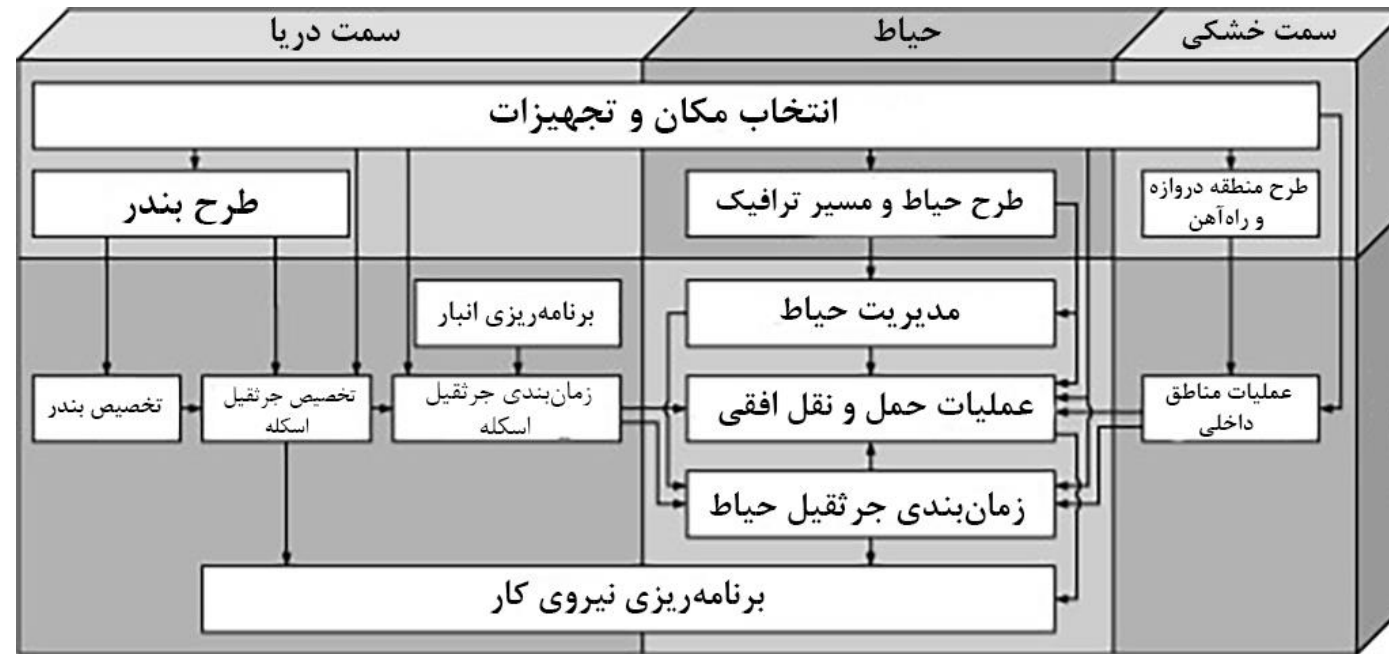
هدف عمومی برنامه ریزی اسکله بدست آوردن خدمات سریع و قابل اطمینان برای کشتی ها است که اینها در قالب تابع های هدف تعریف شده و به آن ارجاع داده می شود.

در این پژوهش، مسئله تخصیص پویا اسکله مد نظر است که به بهینه سازی مجموع زمان انتظار و زمان پردازش کشتی ها در بندر می پردازد. مدل ریاضی به تخصیص اسکله ها و زمان بندی لنگر انداختن کشتی ها کمک می کند و هدف نهایی آن بهینه کردن زمان های کل با در نظر گرفتن محدودیت ها است.

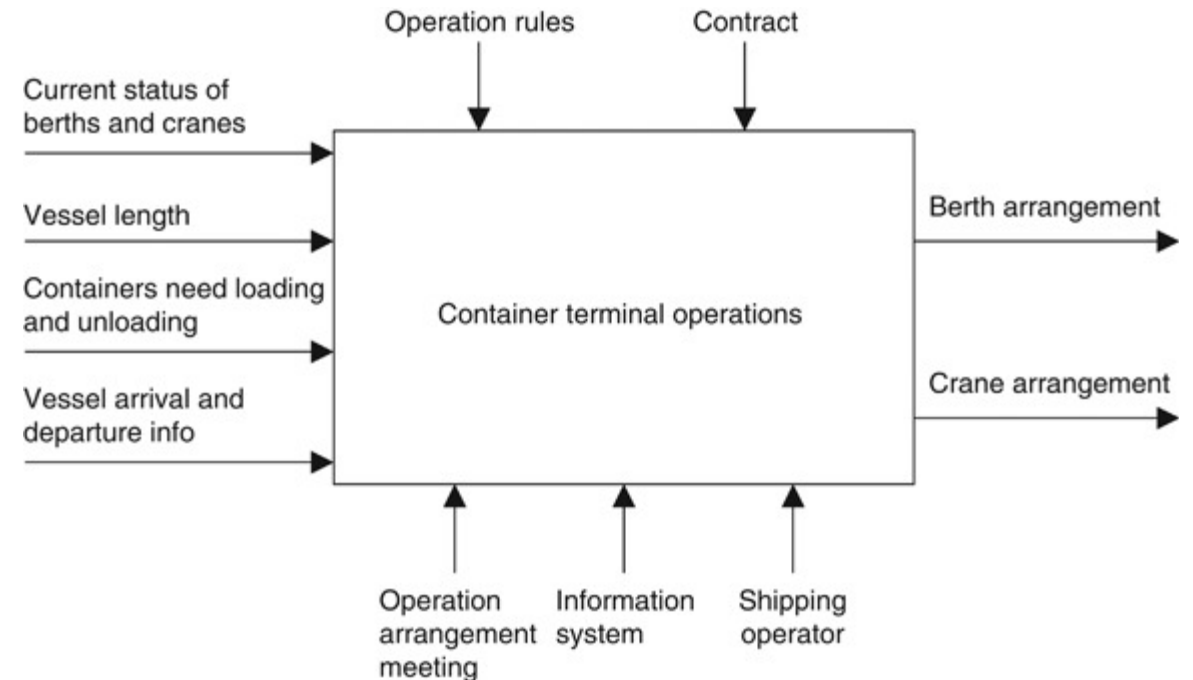
در این پژوهش، تعداد ۷ فرضیه اساسی برای بررسی و تحلیل مسئله تخصیص اسکله تعریف شده است که به چهارچوب طراحی اسکله و جنبه‌های زمان‌بندی و تخصیص منابع می‌پردازند. این فرضیه‌ها به تعیین اسکله‌های ترجیحی و هماهنگی تخصیص کمک می‌کنند و هدف آنها ایجاد پیش‌زمینه‌ای برای مدلسازی در این حوزه است.

- ****فرض ۱-۱**** تنها یک بندر و پایانه دریایی با چند اسکله وجود دارد که باید به‌طور بهینه مدیریت شود تا از حداکثر ظرفیت بهره‌برداری شود.
- ****فرض ۱-۲**** مدل‌ها بهینه‌سازی مجموع زمان انتظار و پردازش کشتی‌ها را هدف قرار می‌دهند که منجر به کاهش هزینه‌ها و افزایش رضایت مشتریان می‌شود.
- ****فرض ۱-۳**** هر کشتی تنها می‌تواند در یک اسکله با یک جرثقیل مدیریت شود که باعث کاهش زمان بین ورود و خروج کشتی‌ها می‌شود.
- ****فرض ۱-۴**** پنجره‌های زمانی ثابت و طول لنگرگیری متناسب با طول اسکله‌ها در نظر گرفته می‌شود.
- ****فرض ۱-۵**** هر کشتی دارای یک اسکله ترجیحی برای پهلوگیری است که به محل ذخیره‌سازی نزدیک‌تر است.
- ****فرض ۱-۶**** تصمیم‌گیری درباره زمان لنگرگیری تنها در یک فاز مشخص صورت می‌گیرد که باعث کاهش خطاها و دقت بیشتر می‌شود.
- ****فرض ۱-۷**** کشتی‌ها دوره زمانی مشخصی برای پهلوگیری دارند و در صورت تخطی از زمان مقرر، جریمه می‌شوند تا کارایی بندر افزایش یابد.

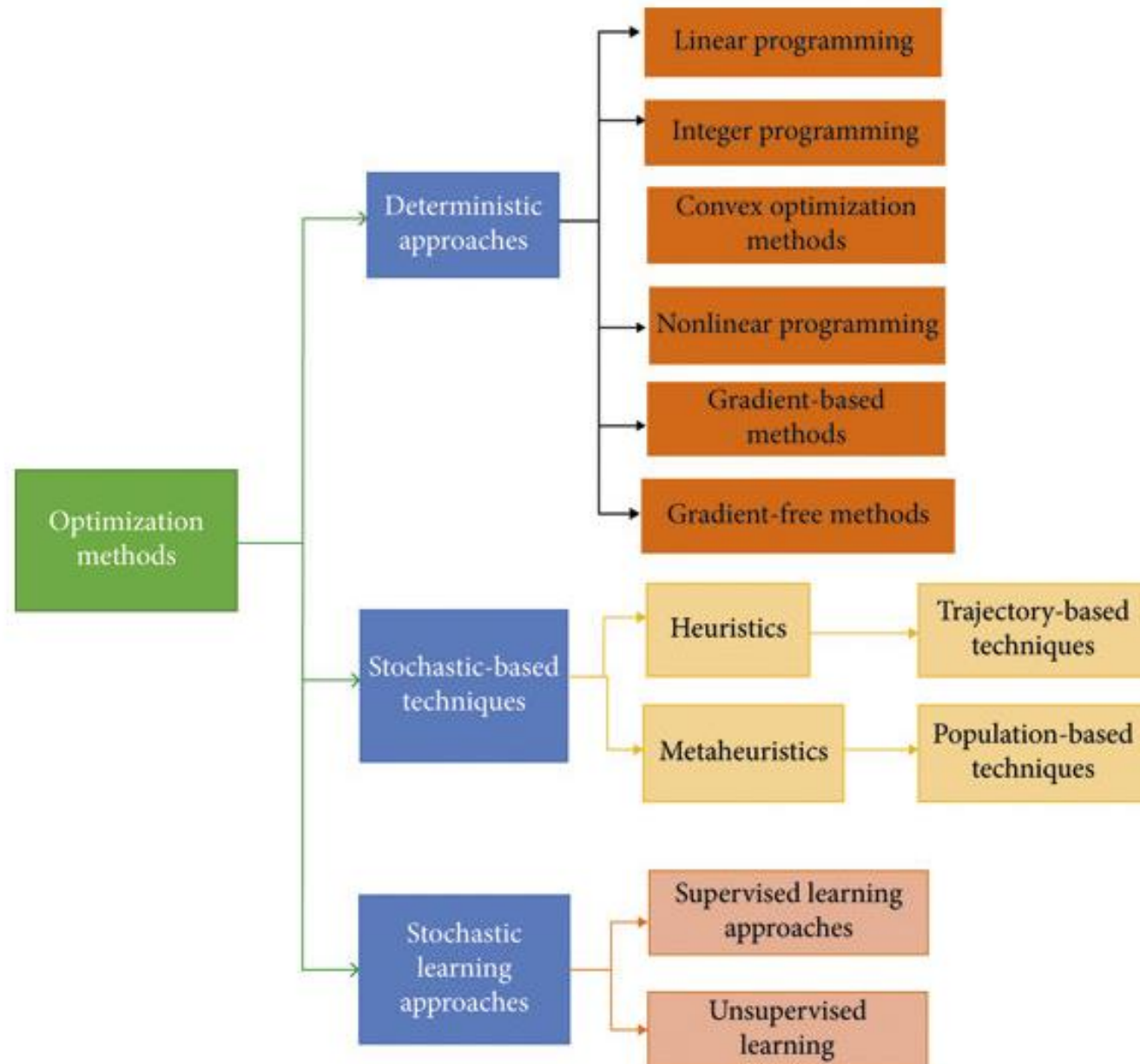
- ❑ مسئله تخصیص اسکله در برگیرنده تعیین کشتی‌های ورودی به موقعیت اسکله است. علاوه بر این، مسائل تخصیص اسکله اغلب از نوع گسسته و پیوسته هستند و که این دسته بندی مربوط به زمان ورودی کشتی‌های کانتینر و اطلاع از ظرفیت بارگیری آنها می‌شود.
- ❑ **هزینه‌های اسکله:** در این پژوهش، هزینه‌های مربوط به هر پنجره کاری در اسکله بر اساس واحد تعریفی مشخص شده تعیین می‌شود.
- ❑ **میزان بهره‌وری اسکله:** بهره‌وری پایانه دریایی اشاره به کارایی عملیاتی بندر در سطح حداکثری از جهت خروجی بر اساس منابع محدود شده است. معیارهای کارایی عملیاتی در اینجا میزان اشغال بودن اسکله و زمان از دست رفته کل است که به صورت پیوسته در نظر گرفته می‌شود.
- ❑ **اسکله ترجیحی:** هر کشتی معمولاً بر اساس معیارهایی مانند طول، ارتفاع و عمق آب دماغه خود یک اسکله ترجیحی دارد. این اطلاعات قبل از تخصیص اصلی اسکله جمع‌آوری می‌شود تا از تناسب و سازگاری کشتی با اسکله اطمینان حاصل شود و عملیات بندری بهینه‌تری اتفاق بیفتد.
- ❑ **توابع هدف معیار جهت ارزیابی حساسیت الگوریتم پیشنهادی:** توابع هدف معیار، مجموعه‌ای از توابع ریاضی هستند که از آنها به عنوان استاندارد برای ارزیابی الگوریتم‌های بهینه‌سازی استفاده می‌شوند. در این پژوهش، مطابق با جدول شماره (۳)، چهار تابع هدف مورد استفاده معرفی شده‌اند. تابع‌های Sphere, Rosenbrock, Rastrigin و Griewank توابع کلیدی هستند.
- ❑ **الگوریتم‌های معیار:** در این تحقیق، از الگوریتم فاخته پایه، بهینه‌سازی ذرات و برآورد توزیع به عنوان الگوریتم‌های مقایسه‌ای استفاده شده است. همچنین، رویکرد پردازش بر اساس اولویت ورود نیز به منظور ارزیابی کارایی و بهینه‌سازی تخصیص منابع در روش پیشنهادی لحاظ گردیده است.



این تصویر نمایانگر چرخش پردازش در پایانه دریایی است و شامل پنج تصمیم کلیدی در مدیریت و برنامه ریزی است که هر یک نقش اساسی در بهینه سازی عملکرد پایانه دارد. اولین تصمیم، **زمان بندی و تخصیص اسکله به کشتی** می باشد که به تحلیل و تعیین بهینه زمان و مکان پهلوگیری کشتی ها بر اساس ظرفیت بندر و ترافیک پیش بینی شده می پردازد. دومین تصمیم، **زمان بندی جرثقیل** است که شامل ایجاد الگوریتم های مؤثر برای برنامه ریزی دقیق عملیات بارگیری و تخلیه بارها از کشتی ها به منظور کاهش زمان توقف و افزایش سرعت گردش بار می باشد. سومین تصمیم، **بهینه سازی دروازه** است که برای ادغام مدهای انتقال در نظر گرفته می شود و نیازمند تجزیه و تحلیل معیارهای ترافیکی و اولویتهای بارگیری است. چهارمین تصمیم، **مدیریت تخصیص حیات** به منظور بهینه سازی فضای انبار و تسهیل جابجایی بارها است، که این امر با استفاده از مدیریت فضا و الگوریتم های تصمیم سازی میسر می شود. در نهایت، **زمان بندی و مسیریابی ماشین های خودکار** شامل طراحی و پیاده سازی مسیرهای کارآمد برای این ماشین ها به همراه زمان بندی فعالیت ها به منظور به حداقل رساندن تاخیر در جابه جایی بار است. این تصمیمات به طور یکپارچه به افزایش کارایی و بهبود هماهنگی در عملیات پایانه های دریایی کمک می کنند.



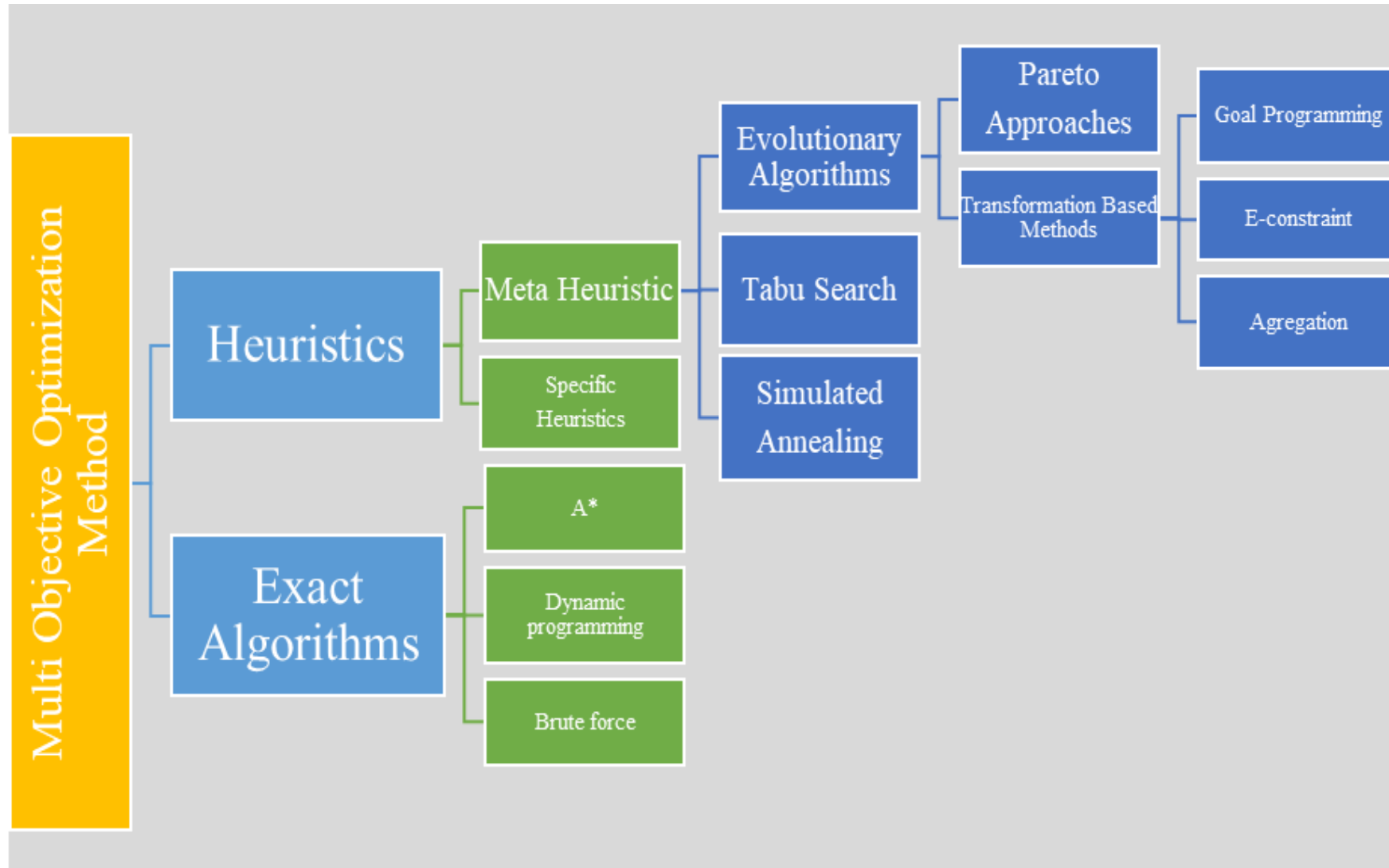
این تصویر به تحلیل عملیات پایانه‌های کانتینری می‌پردازد و شامل اجزای کلیدی و فرآیندهای مرتبط با مدیریت بارگیری و تخلیه کشتی‌ها است. در مرکز این نمودار، عملیات پایانه کانتینری قرار دارد که تحت تأثیر چندین عامل مهم قرار می‌گیرد. اطلاعاتی نظیر وضعیت کنونی اسکله‌ها و جرثقیل‌ها، طول کشتی، نیاز به بارگیری و تخلیه کانتینرها و اطلاعات ورود و خروج کشتی به‌عنوان ورودی‌های حیاتی برای برنامه‌ریزی و اجرای عملیات محسوب می‌شوند. این داده‌ها به همراه قوانین عملیاتی به تعیین ترتیب اسکله و ترتیب جرثقیل کمک می‌کنند. در نهایت، اپراتورهای حمل و نقل نقش کلیدی در اجرای این عملیات دارند. این ساختار به‌طور جامع به بهبود کارایی و کاهش زمان توقف کشتی‌ها در پایانه‌های کانتینری کمک می‌کند.



○ مقایسه روش های
مختلف بهینه سازی

○ مقایسه روش های مختلف بهینه سازی

روش بهینه سازی	مثال الگوریتم	نقاط قوت	نقاط ضعف	کاربرد
برنامه ریزی خطی	Simplex Method, Interior-point Method	مناسب برای مسائلی که روابط خطی دارند.	محدودیت خطی بودن دارد، نسبت به تغییرات ورودی حساس است	برنامه ریزی تولید
برنامه ریزی عدد صحیح	Cutting Planes	برای تصمیم های باینری پاسخ مناسب ارائه می کند. در سایر موارد پاسخ آن نسبی است.	از نظر محاسباتی پرهزینه است و زمان زیادی را صرف پیدا کردن راه حل می کند.	مسیر یابی خودرو، بودجه بندی مالی
روش های بهینه سازی محدب	Gradient Descent, Newton's method	قطعا نقطه بهینه سراسری را ارائه می کند.	فرموله کردن مسئله به نحوی که محدب باشد در اکثر مواقع ممکن نیست.	کنترل سیستم، یادگیری ماشین
برنامه ریزی غیر خطی	Sequential Quadratic Programming, (SQP)	می تواند روابط با پیچیدگی بالا را مدل کند.	به حجم محاسبات زیادی در مسائل با بُعد بالا نیاز دارد.	طراحی مهندسی، بهینه سازی انرژی، اقتصاد
روش های مبتنی بر گرادیان	Steepest Ascent/Descent, Conjugate Gradient Methods	حتما راه حل بهینه سراسری را ارائه می کند و سرعت همگرایی مناسبی دارد	ناتوانی در مدیریت توابع ناهمبند یا گسسته، این روش به نقاط اولیه وابستگی دارد به طوری که نتایج می تواند به طور قابل توجهی بسته به شرایط اولیه متفاوت باشد.	مدل های آماری و یادگیری ماشین
روش های بدون گرادیان	Genetic Algorithms, Nelder-Mead Method	قابلیت کار با توابع غیرقابل مشتق پذیر و کارایی بالا در مسائل چند بعدی و پیچیده	قطر جستجو می تواند بزرگتر باشد و همگرایی تضمین نمی شود	توابعی که غیرقابل مشتق، ناپیوسته یا پرنوسان باشند.



○ نگاهی به روش‌های بهینه سازی چند هدفه

ویژگی	الگوریتم‌های دقیق	روش های اکتشافی و فرا اکتشافی
بهینگی	بهترین راه حل ارائه می‌شود	مناسب ترین راه حل ارائه می‌شود
سرعت	با توجه به اندازه مسئله سرعت پایین تری دارند.	طوری طراحی شده‌اند که در کم‌ترین زمان ممکن پاسخ بهینه را ارائه کنند
پیچیدگی	نیازمند منابع محاسباتی زیادی هستند.	پیچیدگی محاسباتی کم‌تری دارند.
میزان قطعیت	در هر اجرا الگویی قطعی دارند.	در هر اجرا مبتنی بر فاکتورهای تصادفی عمل می‌کنند.
کاربرد	برای مسائل در سائز میانه مناسب هستند.	برای مسائل در اندازه بزرگ مناسب به شمار می‌آیند.
میزان کشف در مسئله	جستجوی این الگوریتم‌ها ساختارمند است. به اکتشاف تمام فضای جستجو می‌پردازند.	در کشف و جستجو بر روی مناطق نزدیک به نقطه بهینه متمرکز می‌شوند.
میزان استفاده از منابع	نیازمند میزان حافظه و قدرت پردازش بالایی هستند.	به خصوص زمانی که مجموعه داده بزرگ باشد در استفاده از منابع موثر عمل می‌کنند.
تطبیق پذیری	انعطاف پذیری کمی دارند و منحصر به مسئله‌ای خاص تعریف می‌شوند.	قدرت تعمیم بالایی دارند و در بسیاری از مسائل می‌توان از آنها استفاده کرد.
مدیریت سناریوها	عملکرد مناسبی در محیط‌های پویا ندارند.	در محیط‌های غیر قطعی و پویا به خوبی عمل می‌کنند.
دقت	دقت بالایی دارند اما تقریبی در ارائه راه حل ممکن وجود ندارد.	بسته به شرایط راه حل را تقریب زده و در کیفیت راه حل با یکدیگر می‌تواند متفاوت باشد.
توانایی یادگیری	توانایی یادگیری ندارند.	برخی از الگوریتم‌های اکتشافی در طول زمان تکامل می‌یابند.

۳-۴ - تخصیص اسکله در پایانه‌های دریایی: رویکردهای گسسته و پیوسته

□ مسئله تخصیص اسکله از نوع گسسته، فضای اسکله را به چندین لنگرگاه جداگانه تقسیم می‌کند تا هر کشتی بتواند تنها در یک اسکله لنگر اندازد. یک کشتی نمی‌تواند بیش از یک اسکله را اشغال کند و یک اسکله تنها ارائه کننده خدمات به یک کشتی در هر زمان است. در مسئله‌های تخصیص اسکله پیوسته، لنگرگاه یکپارچه است و آن به طول مشخصی در نظر گرفته می‌شود. بر اساس طول هر کشتی، کشتی‌ها می‌توانند در موقعیت‌های مختلف مستقر شوند.

□ روش حل این مسئله از طریق فرمول‌بندی آن به صورت یک مسئله بهینه‌سازی با اعداد صحیح انجام می‌شود. این مسئله زمان‌بندی تخصیص لنگرگاه با طراحی چندین اسکله از نوع NP-Hard است و شامل متغیرهای عدد صحیح و محدودیت‌ها از پیش تعیین شده است. تابع هدف برای پیدا کردن مقادیری برای متغیرهای تصمیم‌گیری طراحی شده است تا هزینه لنگراندازی کشتی‌ها در پایانه را کمینه کند و محدودیت‌ها را نقض نکند.

تابع هدف این مسئله از مرجع [1] استخراج شده و به صورت رابطه (۱) می باشد.

$$MinCostVessels = \sum_{k=1}^l \{c_{1k}.Z_k + c_{2k}(ETA_k - At_k)^+ + c_{3k}(At_k - ETA_k)^+ + c_{4k}(Dt_k - d_k)^+\} \quad (1)$$

که در آن:

- Z_k مجموع فاصله مطلق بین اسکله ترجیحی کشتی k و اسکله تخصیص داده شده به این کشتی است.
- At_k و Dt_k به ترتیب زمان های واقعی لنگرگیری کشتی k در پایانه و زمان خروج کشتی k از پایانه است.
- عبارت اول پנالتی هزینه مربوط به اختلاف بین اسکله های مختلف لنگرگیری کشتی ها و اسکله تخصیص داده شده به آنها است.
- عبارت دوم مربوط به پنالتی لنگرگیری زودتر از موعد تعیین شده است.
- عبارت سوم مربوط به پنالتی لنگرگیری دیرتر از آنچه از پیش تعیین شده است.
- عبارت آخری، پنالتی هزینه است که به دلیل تاخیر در خروج کشتی از لنگرگاه بعد از زمان تعیین شده است.
- سه عبارت آخر تنها در صورتی بر روی تابع هدف اثر می گذارند که مقدار آنها مثبت باشد.

○ مدل‌سازی مسئله – تعریف متغیرها

مطابق جدول (۱) این پارامترهای در فرموله کردن مسئله مورد استفاده قرار گرفته است که اینها در ابتدای افق برنامه ریزی مشخص شده است

ردیف	پارامتر مسئله	توصیف
۱	T	تعداد کل دوره های زمانی در افق برنامه ریزی.
۲	L	تعداد کشتی های ورودی برای لنگر انداختن در پایانه کانتینری
۳	ETA_k	زمان مورد انتظار ورود کشتی k به پایانه کانتینری
۴	Q_k	اسکله ترجیحی برای کشتی k
۵	d_k	زمان مقرر برای خارج شدن کشتی k از پایانه کانتینری
۶	P_k	طول دوره زمانی پردازش کشتی برای تخلیه و بارگیری کانتینرها.
۷	$c1k$	هزینه جریمه کشتی k در صورتی که کشتی نتواند در اسکله دلخواه خود پهلو بگیرد.
۸	$c2k$	هزینه جریمه کشتی k در واحد زمان ورود زودتر قبل از ETA_k .
۹	$c3k$	هزینه جریمه کشتی k در واحد زمان دیر رسیدن پس از ETA_k .
۱۰	$c4k$	هزینه جریمه کشتی k به ازای واحد تاخیر در زمان مقرر.
۱۱	M	تعداد اسکله ها در بندر.

به طور رسمی، مطابق جدول (۲) متغیرهای تصمیم‌گیری در این مسئله شامل:

ردیف	پارامتر تصمیم‌گیری	توصیف	دامنه‌ی پارامتر
۱	At_k	زمان واقعی لنگرگیری کشتی k به یک اسکله.	Domain (At_k)={1,2,3,4,...,T}
۲	Dt_k	زمان خروج کشتی k از اسکله لنگرگیری شده	Domain (Dt_k)={1,2,3,4,...,T}
۳	X_{itk}	ارزش این متغیر برابر یک است اگر اسکله i در زمان t به کشتی k اختصاص داده شود، در غیر این صورت ارزش این متغیر صفر خواهد بود	Domain (X_{itk})={0,1}

○ بیان محدودیت‌ها مسئله زمانبندی تخصیص اسکله

□ در مسائل ترکیبی زمانبندی، این نوع رضایتمندی محدودیت به عنوان یک چارچوب برای فرموله کردن وضعیت‌ها به کار می‌رود. به عبارت دیگر، هر وضعیت باید با شرایط رضایتمندی محدودیت هم‌خوانی داشته باشد. در فرآیند فرموله کردن مسئله پیش رو، سه محدودیت زیر در نظر گرفته می‌شود

- **محدودیت ۱:** این محدودیت بیان می‌کند که زمان پردازش کوچک‌تر و یا مساوی زمان ورود منهای زمان خروج است.

$$\forall_k, DT_k - AT_k \geq Processing_k \quad (2.1)$$

$$\forall_k, B_k = \{1, \dots, m\}$$

- **محدودیت ۲:** این محدودیت بیان کننده این است که زمان کل پردازش برابر با بازه‌های زمانی ضرب در جمع کل اسکله تخصیص داده شده است.

$$X_{mk} = \{0,1\}, Q_k = \{1, \dots, M\} \quad (2.2)$$

$$if X_{mk} = 1 \rightarrow Y_{\{tmk\}} = t \times X_{\{imk\}}$$

- **محدودیت ۳:** این محدودیت بیان کننده این است که به هر کشتی تنها یک اسکله تخصیص داده می‌شود و جمع کل زمان صرف شده در اسکله‌های تخصیص داده شده از زمان پردازش بیشتر و یا مساوی است.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M X_{\{tmk\}} \geq process_k, \quad for k = 1, \dots, l \quad (2.3)$$

$$if Q_k = m \rightarrow At_k = Min_t y_{\{tmk\}}, \quad for k = 1, \dots, l$$

$$if Q_k = m \rightarrow Dt_k = Max_t y_{\{tmk\}}, \quad for k = 1, \dots, l$$

کشف

در این فرمول، x_k^t و x_j^t دو مجموعه راه حل مختلف هستند که به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند $H(u)$. به تابعی اشاره دارد که معمولاً برای تعیین شرایط خاص در مسائل بهینه‌سازی بر اساس ورودی‌های خود، خروجی‌های خاصی تولید می‌کند. به عنوان مثال، تابع هویساید می‌تواند برای تعیین این که آیا یک راه حل خاص معتبر است یا خیر، به کار رود. در این فرمول، ϵ عددی تصادفی است که از توزیع یکنواخت به دست آمده و s اندازه قدم است. از سوی دیگر، هدف پیاده‌روی تصادفی سراسری کشف فضای جستجو است که به وسیله پرواز لوی انجام می‌شود. بیان ریاضی این پرواز به صورت زیر است.

$$X_i^{t+1} = x_i^t + \alpha L(s, \lambda), \quad (4)$$

پارامتر p_a به عنوان احتمال تغییر در این الگوریتم مطرح شده است. این پارامتر به گونه‌ای طراحی شده است که وضعیت بدترین میزبان را با یک لانه تصادفی جدید جایگزین کند. در این حالت، هدف این است که با اعمال تغییرات تصادفی و هدفمند، تنوع در فرآیند جستجو حفظ شود، بنابراین خطر همگرایی زودهنگام به حداقل برسد.

معادله ارائه شده در فرمول (۳) به وضوح نشان‌دهنده این تعامل است. در این معادله، X_{it+1} به روز رسانی وضعیت لانه در تکرار $it + 1$ را نشان می‌دهد که بر اساس وضعیت کنونی X_{it} و تغییرات ناشی از پارامترهای دیگر، به علاوه اثرات ناشی از اکتشاف تصادفی محاسبه می‌شود. پارامتر α_s می‌تواند به عنوان یک فاکتور نرمالیزه‌کننده تلقی شود که تأثیرات اکتشاف و بهره‌برداری را تنظیم می‌کند.

$$X_i^{t+1} = x_i^t + \alpha s \oplus H(p_a - \epsilon) \otimes (x_j^t - x_k^t) \quad (3)$$

بهره برداری

جایی که L برابر است با:

$$L(s, \lambda) = \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin(\frac{\pi \lambda}{2})}{\pi} \frac{1}{s^{\{1+\lambda\}}} \quad (s \gg s_0 > 0) \quad (5)$$

□ در معادله ۲، نمادهای $L(s, \lambda)$ ویژگی مقیاس را در نظر می‌گیرد و $\alpha > 0$ نمایانگر فاکتور مقیاس پذیری در اندازه قدم S است. ویژگی مقیاس L بستگی به مسئله در دست حل دارد. برای مثال، $\alpha = O(L/10)$ زمانی مناسب است که بُعد مسئله کوچک باشد. در مقایسه با این وضعیت زمانی که بُعد مسئله بزرگ باشد

□ این مقدار باید برابر با $\alpha = O(L/100)$ است که مقدار مناسب تری است. در این مورد، تغییرها کوچک تر هستند، این باعث خواهد شد که حرکت الگوریتم فاخته به صورت باشد که پیشروی در فضای جستجو تا فضاهای خیلی دور هم صورت بگیرد. اینکه الگوریتم در نقطه بهینه محلی گیر نیافتد بستگی به ترم دوم در معادله دارد. در نتیجه، تنظیمات پارامتر خاص باید طوری صورت بگیرد تا اطمینان حاصل کنیم که راه حل‌های تولید شده از بهترین راه حل کنونی فاصله مناسبی دارند.

○ جزییات راه حل پیشنهادی – رمز گذاری و رمز گشایی راه حل های کاندید

برای حل مسئله زمان بندی تخصیص اسکله با استفاده از روش فراابتکاری پیشنهادی، لازم است که اطلاعات به صورت ساختارمند رمز گذاری شوند. در این پژوهش، ساختار رمز گذاری زیر پیشنهاد می شود: اطلاعات یک راه حل کاندید در یک آرایه به نام X ذخیره می شوند که هر قسمت از این آرایه نمایانگر ویژگی های مختلف کشتی ها است.

c_{1k}	c_{2k}	c_{3k}	c_{4k}	T	l	ETA_k	d_k
3	2	2	3	4	15	9	24

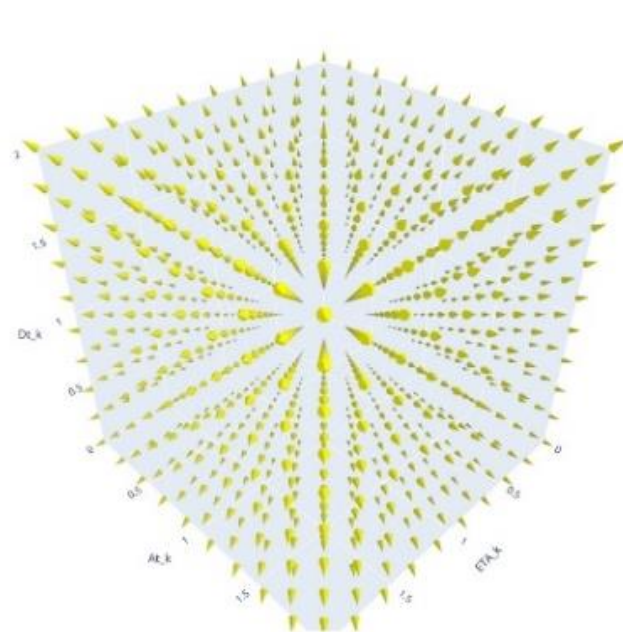
شکل ۲-۴- کد گذاری راه حل کاندید

برای حل مسئله، لازم است اطلاعات را از ساختار داده راه حل به ساختاری قابل تفکیک برای تخصیص اسکله رمز گشایی کنیم. ایده اصلی در این فرآیند، تخصیص کشتی به اسکله های موجود با حداقل افزایش در مقدار هدف است. در الگوریتم جستجوی فاخته، مفهوم رمز گشایی به تفسیر راه حل ها اشاره دارد. در این مرحله، بازنمایی به صورت یک توالی است که نشان دهنده سه متغیر تصمیم گیری می باشد. رمز گشایی لانه ها بر اساس سه مقدار متغیرهای X_{it} ، At_k و Dt_k انجام می شود.

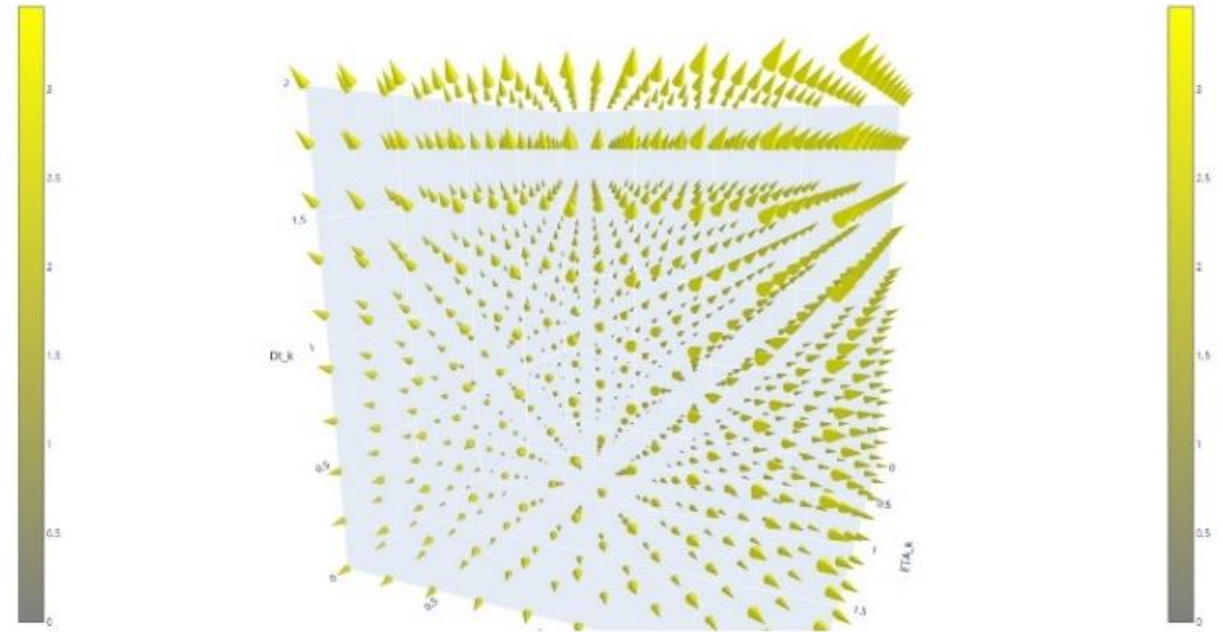
رمز گشایی راه های حل کاندید برای کشتی با شناسه ۱۶ و ۲۱

$$\{[1, 13, 18], [0, 10, 19]\}$$

Vector Field Representation of the berth allocation search space



Vector Field Representation of the berth allocation search space

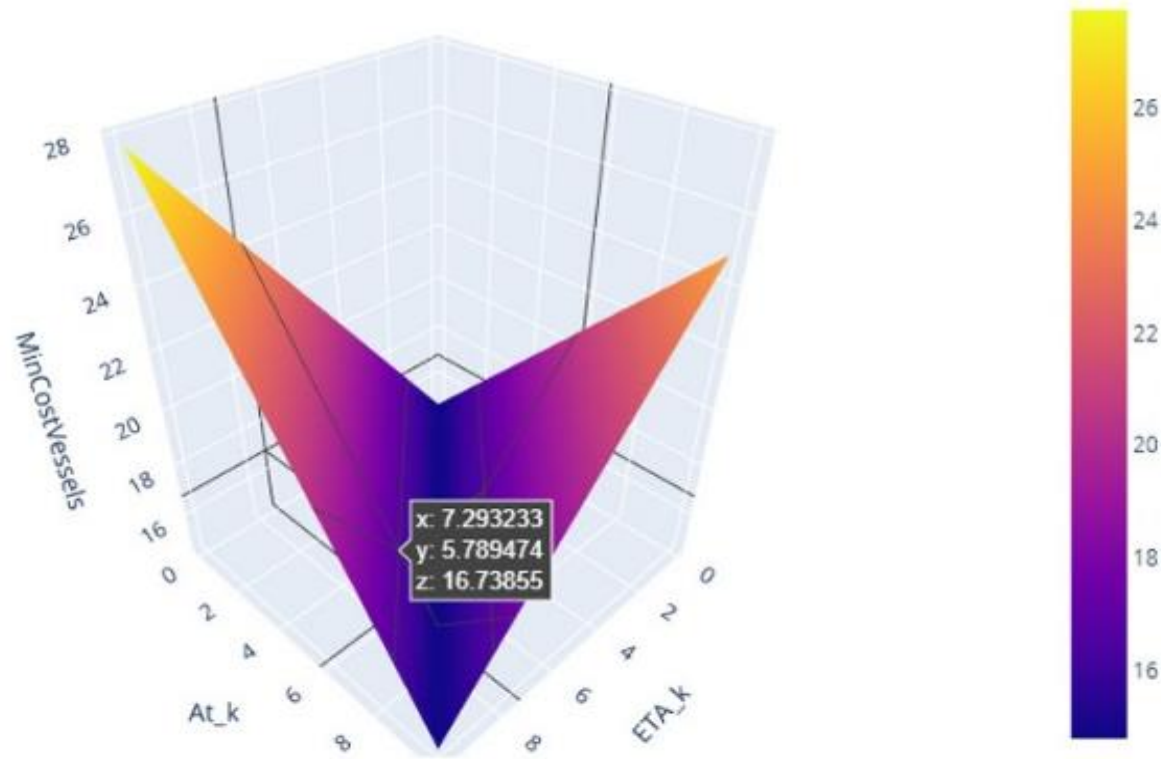


این تصویر نمایی از فضای جستجوی مسئله تخصیص اسکله و زمان‌بندی کشتی‌هاست که هر راه‌حل را به‌عنوان یک بردار افزایشی توصیف می‌کند. هر نقطه در این فضای جستجو، حالت خاصی از تخصیص اسکله و زمان‌بندی عملیات بارگیری و تخلیه را نشان می‌دهد و به‌صورت یک بردار n بعدی مدل‌سازی می‌شود. ابعاد این بردار متغیرهای کلیدی مانند زمان شروع، مدت زمان عملیات و موقعیت اسکله را نمایان می‌سازد.

فضای جستجو به‌صورت گسسته تعریف شده و مدل آن غیر پیوسته و تابع خطی تکه ای است. تابع هدف و محدودیت‌ها به بخش‌های خطی تقسیم‌بندی شده‌اند، که هر بخش نمایانگر زیرمجموعه‌ای از حالات ممکن در فضای جستجو هستند و تغییرات متغیرها به‌صورت خطی و منظم رخ می‌دهد. این تحلیل کمک می‌کند تا بهینه‌ترین تخصیص اسکله و زمان‌بندی به دست آید و هم‌زمان زمان توقف کشتی‌ها و هزینه‌ها کاهش یابد و 24 کارایی عملیات افزایش یابد.

○ فضای جستجو هدف به فرم محدب – پلات فضای تصمیم گیری

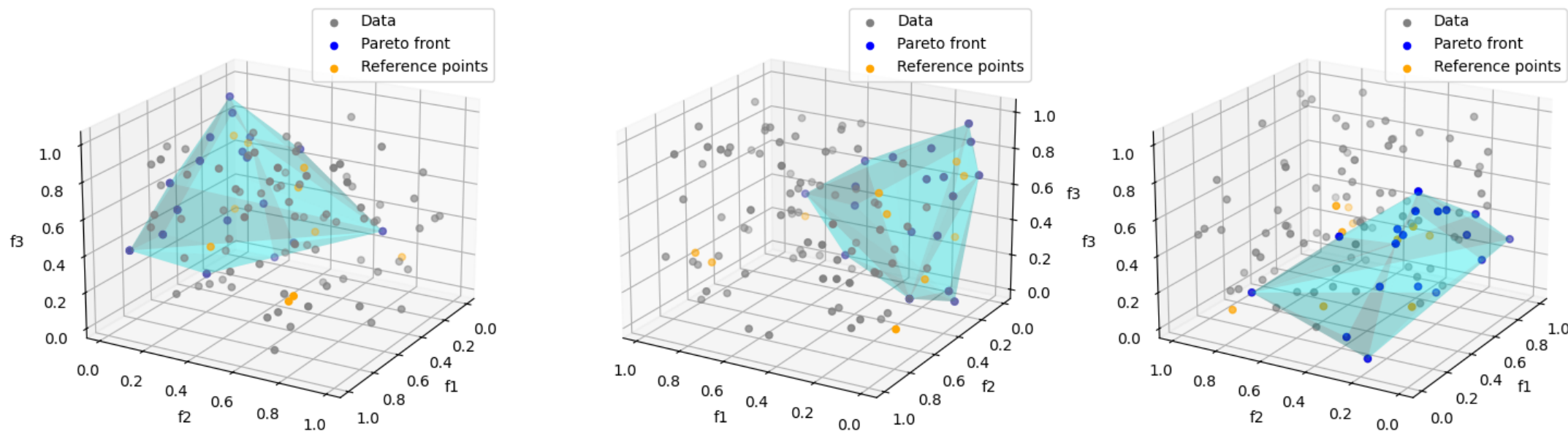
Minimum Cost Surface for $Dt_k = 6.67$



□ مطابق تصویر شماره ۱۱ این پلات نمایانگر سطح حداقل هزینه برای مقدار زمان خروج $Dt_k = 6.67$ است. محورها نشان دهنده متغیرهای At_k (زمان ورود دقیق) و ETA_k (زمان ورود برآورد شده) هستند و محور عمودی مقدار حداقل هزینه تابع هدف را نشان می‌دهد. سطح این صفحه به فرم اوراکل منفرد است که نشان دهنده ویژگی محدب بودن آن است. حداقل‌ترین نقطه در این گراف مرکز آن است و هر چقدر از این نقطه دورتر شویم هزینه‌ها افزایش پیدا می‌کنند. در متغیرهای At_k و ETA_k تحدب تابع به این صورت است که چنانچه خطی بین هر دو نقطه از این سطح رسم شود، این خط در بالای و در در محدوده سطح قرار می‌گیرد که این ویژگی محدب بودن را نشان می‌دهد.

□ همچنین رنگ گرادیانی از محدوده بنفش به زرد رنج مقادیر تابع هدف $MinCostVessels$ را نشان می‌دهد. رنگ‌های تیره‌تر بازه هزینه‌های کمتر هستند و رنگ‌های روشن‌تر مقدار هزینه کل بیشتر را نشان می‌دهد.

○ پلات پرتو مد نظر در بهینه سازی چند هدفه این مسئله



□ مسئله تخصیص اسکله مسئله‌ای است که نیازمند به دو مرحله بهینه سازی است. در این مسئله بهینه سازی چند هدفه با بهینه سازی پرتو مجموعه راه حل‌هایی را در نظر می‌گیرد که در مرز حداقلی قرار گیرند. حداقل سازی جبهه پرتو در این مسئله متشکل از حداقل سازی توابع f_1 و f_2 هستند.. نهایتاً هزینه کل بدست آمده و برای f_3 خواهد بود.

□ حداقل زمان انتظار کشتی‌ها و کاهش هزینه‌های عملیاتی را بهینه می‌کند. نمودارهای سه‌بعدی با محورهای f_1 , f_2 و f_3 نمایانگر اهداف مختلف هستند، که نقاط آبی نشان‌دهنده جبهه پرتو و نقاط زرد نمایانگر نقاط مرجع هستند. نقاط مرجع به‌عنوان معیارهایی برای ارزیابی کیفیت نقاط جبهه پرتو عمل می‌کنند.

ویژگی‌های تعریف شده در داده‌های مورد استفاده

○ **روش اول تولید داده:** داده‌ها با دو نوع توزیع نرمال و یکنواخت تولید شده‌اند تا ویژگی‌های آماری مانند میانگین و واریانس حفظ شود. این رویکرد تنوع و تعمیم در داده‌ها را تضمین کرده و از تک‌جنبه‌ای شدن جلوگیری می‌کند. همچنین، داده‌ها به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که شرایط واقعی و متنوعی را در تحلیل‌های عملی بازنمایی کنند.

○ **روش دوم تولید داده:** برای تولید داده‌ها به‌صورت منظم و با ویژگی‌های آماری مطلوب، از روش توالی سبول Sobol sequence استفاده شده است. این تکنیک نمونه‌برداری ساخت‌یافته نقاطی را در فضای چندبعدی تولید می‌کند و توزیع یکنواخت‌تری را فراهم می‌آورد. با استفاده از این روش، تنوع و تعمیم در داده‌ها به دست می‌آید و از تک‌جنبه‌ای شدن در تحلیل‌های آماری جلوگیری می‌شود.

ردیف	نوع داده	نماد	توضیحات	مثال مجموعه داده
۱	وضعیت جوی	W	وضعیت جوی شامل بارش، نوع آب و هوا	$W = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_n\}$
۲	روز کاری و تعطیلات	D	مجموعه شبانه روز کاری	$D = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_n\}$
۳	تعداد کشتی‌ها	C	تعداد کشتی‌های ورودی و خروجی	C_{total}
۴	نوع کشتی‌ها	K	نوع کشتی‌ها بر اساس طول	$K = \{k_1, k_2, k_3, \dots, K_n\}$
۵	زمان برآورد شده ورود و خروج کشتی‌ها	$T_{estimated}$	زمان برآورد شده ورود و خروج کشتی	$T_{estimated} = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\}$
۶	زمان‌های واقعی ورود و خروج	T	زمان دقیق ورود و خروج کشتی	$T_{actual} = \{T_{a1}, T_{a2}, T_{a3}, \dots, T_n\}$
۷	عمق دماغه کشتی	D_{draft}	عمق دماغه کشتی که در تخصیص اسکله مناسب با توجه به عمق آب مهم قلم داده می‌شود	$D_{draft} = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_n\}$
۸	وضعیت جذر سطح دریا	A	عمق آب و وضعیت جزر و مد	A

ردیف	توصیف رویکرد آزمایش	تمرکز آزمایش
۱	در این آزمایش، در این تحقیق، مقایسه الگوریتم پیشنهادی با چهار تابع هدف استاندارد که ساختار متفاوتی دارند، انجام می‌شود.	مقایسه عملکرد الگوریتم پیشنهادی با توابع هدف مختلف
۲	با اجرای الگوریتم پیشنهادی و بر اساس تابع هدف مسئله، فقط تأثیر تغییر تعداد اسکله بر کارایی تحلیل می‌شود.	تحلیل میزان تأثیر تعداد اسکله بر روی کارایی
۳	با اجرای الگوریتم پیشنهادی و بر اساس تابع هدف مسئله، فقط تأثیر تغییر تعداد کشتی بر کارایی تحلیل می‌شود.	تحلیل میزان تأثیر تعداد کشتی بر روی کارایی
۴	با اجرای الگوریتم پیشنهادی و بر اساس تابع هدف مسئله، تأثیر تغییر تعداد کشتی و تعداد اسکله بر کارایی تحلیل می‌شود.	تحلیل میزان تأثیر تعداد کشتی‌ها و اسکله‌ها بر روی کارایی
۵	ارزیابی میزان تأثیر آب و هوا بر روی کارایی صورت می‌گیرد. اجرا بر اساس الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر تابع هدف پایه است.	تحلیل میزان اثر گذاری آب و هوا بر روی کارایی
۶	ارزیابی میزان تأثیر سطح جذر بر روی کارایی صورت می‌گیرد. اجرا بر اساس تابع هدف مسئله و الگوریتم پیشنهادی است.	تحلیل میزان اثرگذاری سطح جذر بر روی کارایی
۷	کارایی الگوریتم پیشنهادی با رویکرد الویت سرویس بر اساس ترتیب ورود، الگوریتم فاخته پایه، الگوریتم بهینه‌سازی ذرات و الگوریتم برآورد توزیع مقایسه می‌شود.	واکاوی کارایی و سرعت یافتن به راه‌حل‌های بهینه به صورت مقایسه‌ای

□ در این پژوهش، هفت آزمایش مختلف طراحی شده‌اند تا رویکرد ارزیابی جامع و دقیقی ارائه دهند. این آزمایش‌ها به صورت متنوعی تنظیم شده‌اند تا جنبه‌های مختلف موضوع مورد مطالعه را به دقت بررسی کنند

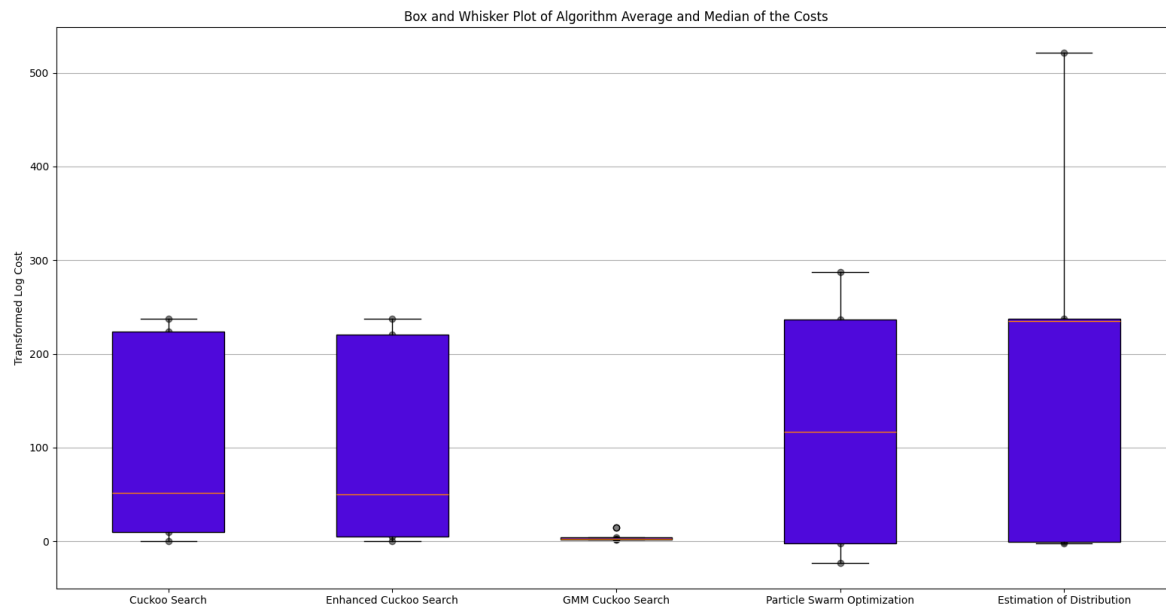
○ معیارهای آماری و معیارهای تابعی جهت ارزیابی آزمایش های مختلف

پارامتر	نماد	تعریف	واحد	کاربرد
بهترین مقادیر تابع هدف	f^*	بهترین هزینه های یافت شده به وسیله الگوریتم	واحد تابع هدف مسئله	در مسئله کنونی باید حداقل باشد
تعداد گردش	l	تعداد کل گردش های اجرا شده در طی جستجو	شمارش	از این پارامتر برای همگرایی استفاده می شود
میانگین کیفیت راه حل	μ	میانگین هزینه تمام راه حل های یافت شده	واحد تابع هدف مسئله	از این پارامتر برای ارزیابی کارایی کل استفاده می شود
انحراف معیار	σ	تنوع راه حل های یافت شده در طول جستجو	واحد تابع هدف مسئله	این پارامتر میزان پایداری فرآیند جستجو را نشان می دهد
نرخ موفقیت	p	نسبت راه حل هایی که با موفقیت جایگزین لانه شدند	درصد (%)	نرخ بالای این پارامتر ظرفیت کشف بهتر را نشان می دهد
اندازه نمونه	n	تعداد لانه های فاخته اولیه (راه حل های ممکن)	تعداد	این پارامتر ظرفیت کشف را نشان می دهد
فاصله اطمینان ۹۵٪	CI	محدوده ای که انتظار می رود در آن راه حل بهینه واقعی وجود داشته باشد	واحد تابع هدف مسئله	میزان استحکام راه حل پیشنهادی را نشان می دهد.

نام تابع	فرمول تابع هدف معیار	ویژگی	مقدار حداقل سراسری
تابع Sphere	$f(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2$	محدب و پیوسته، تنها یک نقطه بهینه سراسری دارد	(0, 0, ..., 0)
تابع Rosenbrock	$f(x, y) = (1 - x)^2 + 100 (y - x^2)^2$	غیر محدب، پیوسته	(1, 1)
تابع Rastrigin	$f(x) = 10n + \sum_{i=1}^n [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i)]$	غیر محدب، پیوسته	(0, 0, ..., 0)
تابع Griewank	$f(x) = \sum_{i=1}^n \frac{x_i^2}{4000} - \prod_{i=1}^n \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right) + 1$	غیر محدب، پیوسته، نقاط حداقل محلی متعددی دارد.	(0, 0, ..., 0)

پارامتر	نماد	الگوریتم	تعریف
اندازه جمعیت	n	CSA/PSO/EDA	تعداد لانه ها (CSA) یا ذره ها (PSO) و یا نمونه منحصر به فرد
حداکثر تعداد گردش	MaxIter	CSA/PSO/EDA	حداکثر تعداد گردش یا نسل ها در اجرای الگوریتم
شرط اتمام	TC	CSA/PSO/EDA	شرط خاتمه الگوریتم
پارامتر جستجوی محلی	LSP	CSA/PSO/EDA	پارامترها جهت استراتژی جستجوی محلی
نرخ کشف	DR	CSA	احتمال کنار گذاشتن لانه
توزیع	LFD	CSA	توزیع راه حل های تولید شده جدید (اندازه قدم)
وزن اینرسی	W	PSO	میزان اثر گذاری سرعت قبلی بر روی حرکت ذره ها
ضریب شناختی	C1	PSO	فاکتوری برای بهترین موقعیت محلی ذره
ضریب اجتماعی	C2	PSO	فاکتوری جهت یافتن بهترین موقعیت سراسری ازدحام ذرات
روش انتخاب	SM	EDA	روش انتخاب هر نمونه جهت تولید نسل بعدی
نرخ جایگزینی	RR	EDA	نسبت جایگزینی نسل جدید
مدل توزیع احتمالاتی	PDM	EDA	مدل توزیع جهت تولید راه های جدید

○ آزمایش اول

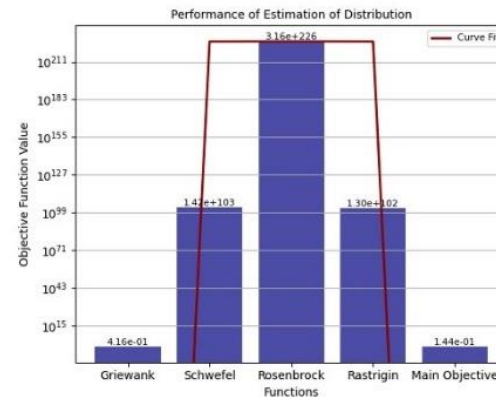
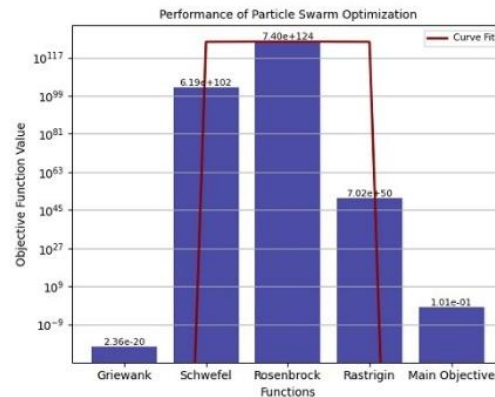
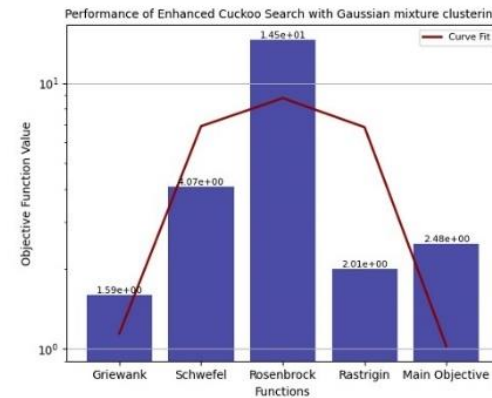
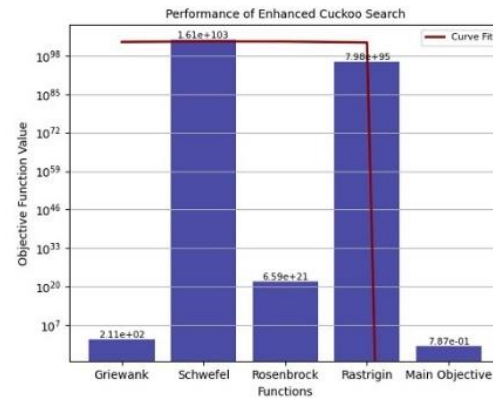
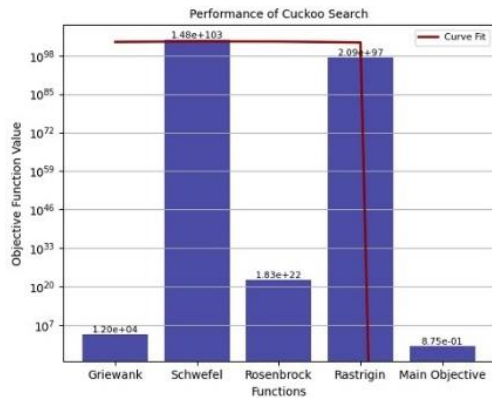


○ طبق جدول، الگوریتم جستجوی فاخته ارتقا یافته در مقایسه با الگوریتم جستجوی پایه، موفق به کاهش هزینه در تمامی توابع تناسب شده است. افزون بر این، این الگوریتم در ترکیب با الگوریتم خوشه‌بندی گوسی، توانسته است به‌طوری قابل توجهی هزینه‌ها را در چهار تابع تناسب مختلف با ساختارهای متفاوت کاهش دهد. این امر نشان‌دهنده استحکام و پیوستگی الگوریتم فراابتکاری فاخته پیشنهادی است.

○ مطابق شکل بالا، نمودار هزینه چهار الگوریتم مورد آزمایش در برابر چهار تابع هدف با ساختارهای مختلف نمایش داده شده است. در این نمودار، الگوریتم پیشنهادی موفق به کسب کمترین هزینه و بالاترین میزان پیوستگی گردیده است.

Griewank function	Schwefel function	Rosenbrock function	Rastrigin function	Main objective function	Metrics	Algorithms
11955.10	1.48×10^{103}	1.82×10^{22}	2.09357×10^{97}	8.751×10^{-1}	f^*	Cuckoo search
30	30	30	30	30	l	
1.47×10^{21}	5.59×10^{103}	3.27×10^{289}	1.30×10^{127}	3.94	μ	
7.99×10^{21}	3.41×10^{103}	inf	8.23×10^{127}	3.61	σ	
0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	p	
0.015	0.017	0.022	0.017	0.014	D	
66	66	66	66	66	n	
1.87×10^{21}	9.11×10^{102}	inf	2.06×10^{127}	0.96	CI	Enhanced cuckoo search
210.51	1.61×10^{103}	6.58×10^{22}	7.97×10^{97}	7.86×10^{-1}	f^*	
30	30	30	30	30	l	
5.06×10^{20}	7.37×10^{103}	7.99×10^{288}	2.09×10^{126}	4.052	μ	
1.53×10^{21}	4.001×10^{103}	inf	7.61×10^{126}	2.526	σ	
0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	p	
0.014	0.016	0.018	0.013	0.011	D	
66	66	66	66	66	n	Enhanced cuckoo search with gaussian mixtures clustering
7.79×10^{20}	2.02×10^{103}	inf	3.85×10^{126}	1.27	CI	
1.59	4.071	14.501	2.005	2.47	f^*	
55	55	55	55	55	l	
4.46	4.32	5.45	4.49	4.05	μ	
4.54	4.71	4.67	4.7001	3.23	σ	
0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	p	
0.013	0.012	0.018	0.014	187104	D	Particle swarm optimization
78	78	78	78	78	n	
1.202	1.246	1.234	1.24	0.853	CI	
2.35×10^{-20}	6.19×10^{102}	7.39×10^{124}	7.02×10^{50}	0.1008	f^*	
100	100	100	100	100	l	
2.36×10^{-20}	6.19×10^{102}	1.08×10^{125}	1.38×10^{52}	0.123	μ	
3.98×10^{-23}	5.67×10^{95}	1.65×10^{124}	5.97×10^{51}	0.017	σ	
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	p	Estimation of Distribution
0.886	0.08	0.585	0.746	0.013	D	
78	78	78	78	78	n	
7.13×10^{-24}	1.11×10^{95}	3.24×10^{123}	1.17×10^{51}	0.0034	CI	
0.41	1.41×10^{103}	3.15×10^{226}	1.302×10^{102}	0.143	f^*	
50	50	50	50	50	l	
403.35	1.40×10^{103}	3.89×10^{226}	1.74×10^{102}	0.157	μ	
1450.91	4.55×10^{101}	inf	8.93×10^{101}	0.069	σ	Estimation of Distribution
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	p	
0.085	0.025	0.021	0.032	0.0124	D	
66	66	66	66	66	n	
402.17	1.26×10^{101}	inf	2.47×10^{101}	0.019	CI	

○ پلات‌های آزمایش اول

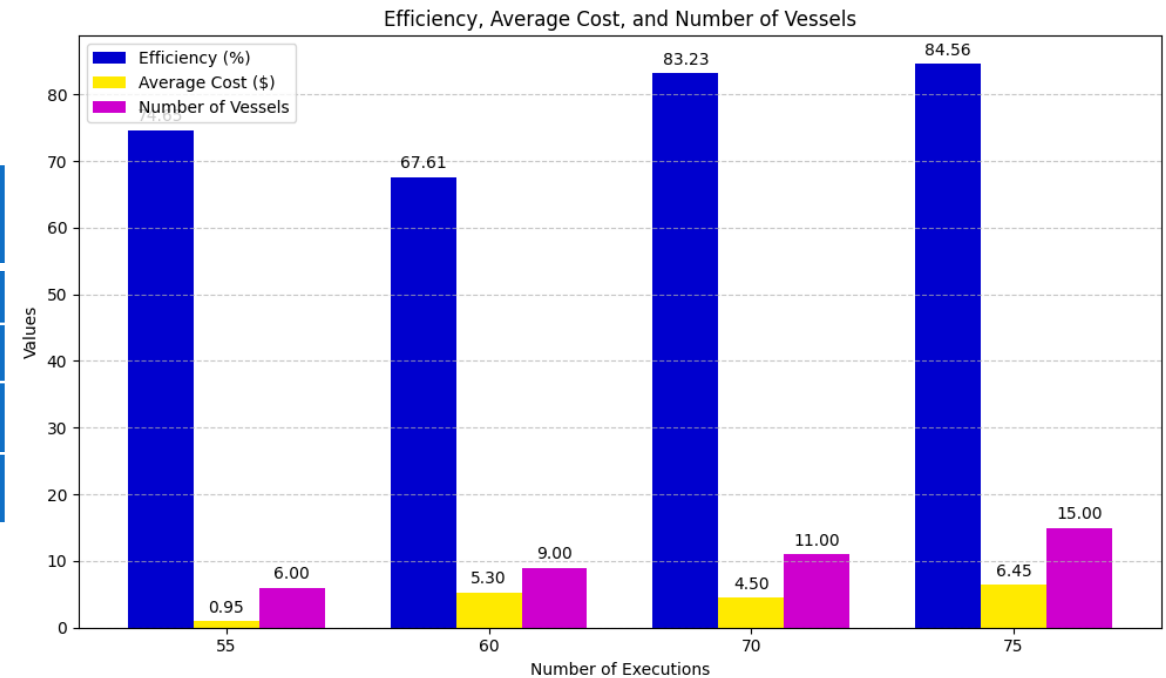


همان‌طور که از نمودار به وضوح قابل مشاهده است، تابع هدف مورد استفاده در این پژوهش کمترین مقدار هزینه میانه را به خود اختصاص داده است. این ویژگی برتری این تابع را نسبت به سایر توابع هدف نشان می‌دهد و گویای کارایی بالای آن در فرآیند بهینه‌سازی است. در واقع، جنبه مهمی که در اینجا باید به آن توجه شود، قابلیت تعمیم بالای الگوریتم پیشنهادی است. فاخته ارتقا یافته به همراه خوشه بندی گوسی با وجود پیچیدگی‌های متعدد توانسته هزینه‌های کمتری را با تغییر توابع هدف تولید کند.

از لحاظ پیوستگی کارایی، الگوریتم فاخته ارتقا یافته و سپس نوع پایه آن قرار دارند. اینها به ترتیب حداقل میزان هزینه حداقل رنج میانگین را در میان سایر الگوریتم‌ها داشته اند.

○ آزمایش دوم – تعداد اسکله ثابت

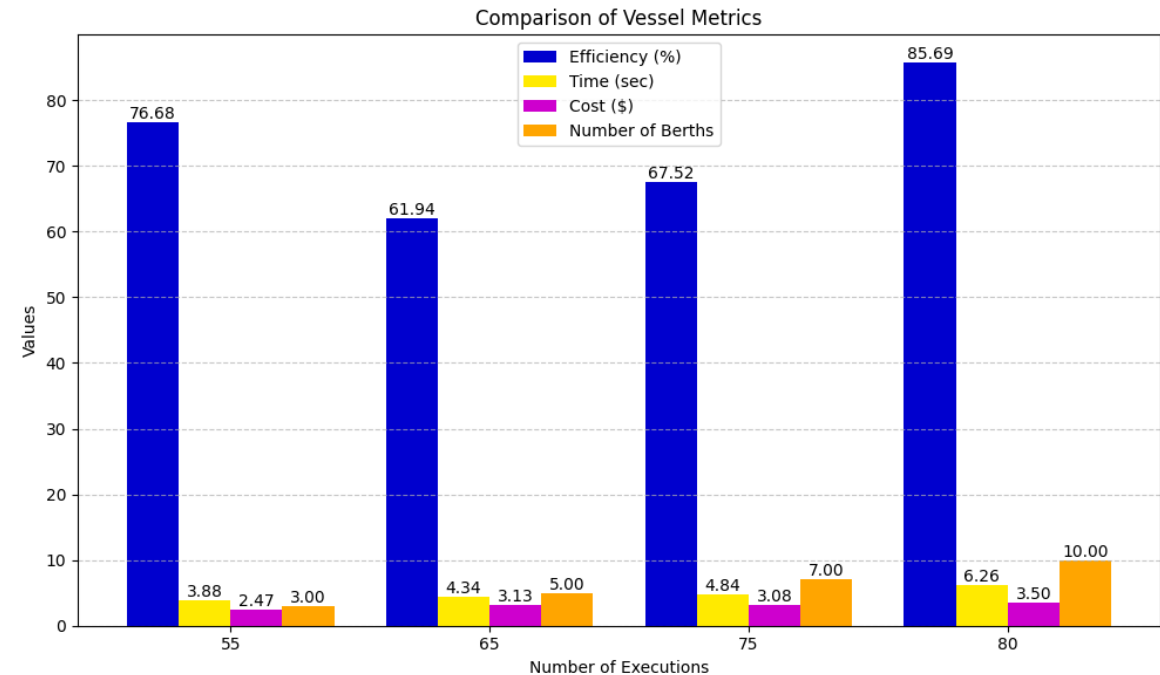
تعداد کشتی‌ها	میانگین هزینه	زمان اجرا	تعداد گردش الگوریتم	میزان بهره‌وری اسکله
6	0.9507	0.21 s	55	74.65%
9	5.308	6.37s	60	67.61%
11	4.503	6.98s	70	83.23%
15	6.45	7.17s	75	84.56%



○ بررسی کارایی با توجه به هزینه و تعداد کشتی‌های ورودی به پایانه دریایی در هر دوره تخصیص، معیاری برای ارزیابی عملکرد اسکله فراهم می‌کند. این تحلیل در بازه‌های شلوغ به شناسایی نقاط قوت و ضعف کمک می‌کند. بر اساس داده‌های ارائه‌شده در جدول (5)، تعداد ۱۱ کشتی با میانگین هزینه ۴.۵۰۳ بالاترین سطح بهره‌وری را در اسکله ایجاد کرده است. این موضوع نشان می‌دهد که هنگامی که سه اسکله وجود داشته باشد و برای هر کدام ۴ پنجره کاری در دو روز در نظر گرفته شود، پردازش تعداد ۱۱ الی ۱۵ کشتی‌ها با سطح بهره‌وری قابل توجهی در پایانه‌های دریایی صورت می‌پذیرد.

○ آزمایش سوم - تعداد کشتی ثابت

تعداد اسکله‌ها	رنج طول اسکله‌ها	تعداد پنجره‌های زمانی اسکله‌ها	میانگین هزینه‌ها	زمان اجرا	تعداد گردش الگوریتم	میزان بهره وری اسکله
3	(165 - 425)	24	2.47	3.87	55	76.68%
5	(159 - 390)	32	3.13	4.34	65	61.94%
7	(93 - 401)	24	3.08	4.83	75	67.52%
10	(141 - 400)	8	3.501	6.26	80	85.69%

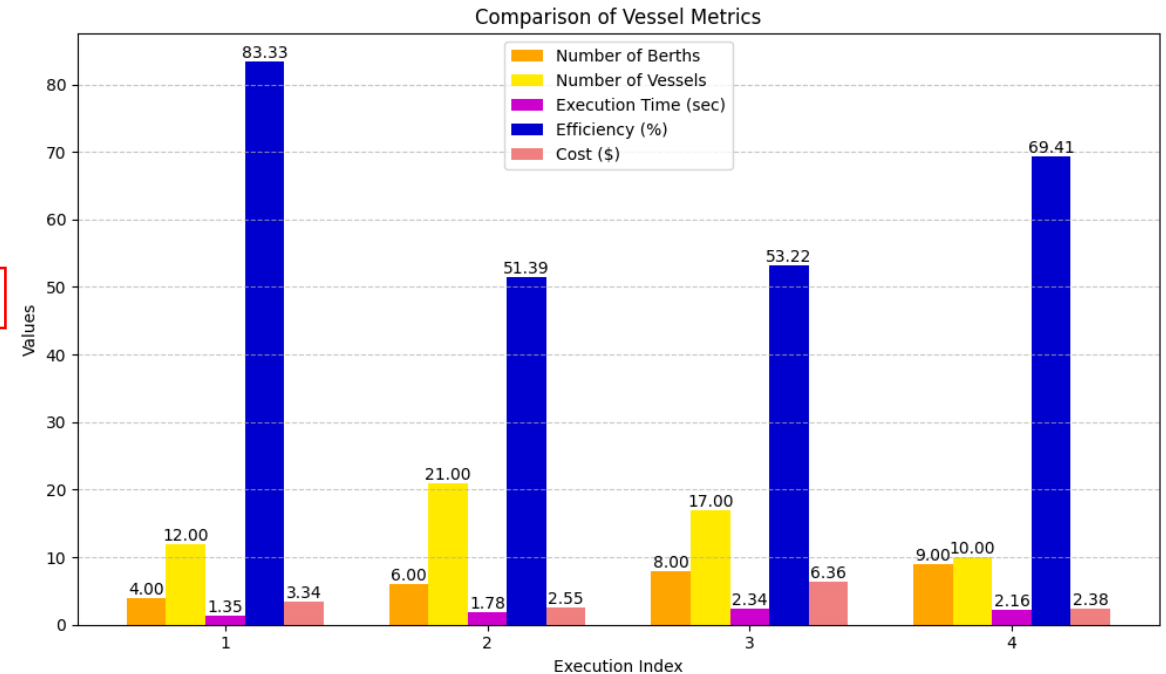


○ نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که در این شرایط، میزان بهره‌وری به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته، هرچند که هزینه‌ها نیز به‌طور نسبی اندکی بالا رفته است. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد زمانی که ۳ اسکله با نسبت پنجره زمانی ۱.۵ برابر نسبت به کشتی‌ها در نظر گرفته شده میزان بهره‌وری فرآیند تخصیص اسکله به کشتی‌ها به حد قابل قبولی رسیده است. این امر نشان‌دهنده این است که ایجاد تعادل بین تعداد اسکله‌ها و پنجره‌های زمانی موثر قلم داده می‌شود

○ از جنبه سرعت اجرای الگوریتم، زمانی که تعداد گردش‌های لازم برای جستجو و یافتن بهترین راه‌حل افزایش یابد، میزان میانگین هزینه در محدوده ثابتی باقی می‌ماند. این نکته به وضوح بیانگر آن است که با افزایش دامنه جستجو در فضای ممکن، به دلیل نرخ همگرایی سریع الگوریتم پیشنهادی، میانگین هزینه در یک بازه ثابت حفظ می‌شود. به این معنا که حتی با وجود جستجوهای بیشتر، نتایج به دست آمده به‌طور قابل توجهی از نظر هزینه تغییر نمی‌کنند و در واقع الگوریتم قادر به یافتن راه‌حل‌های بهینه در شرایط مختلف است.

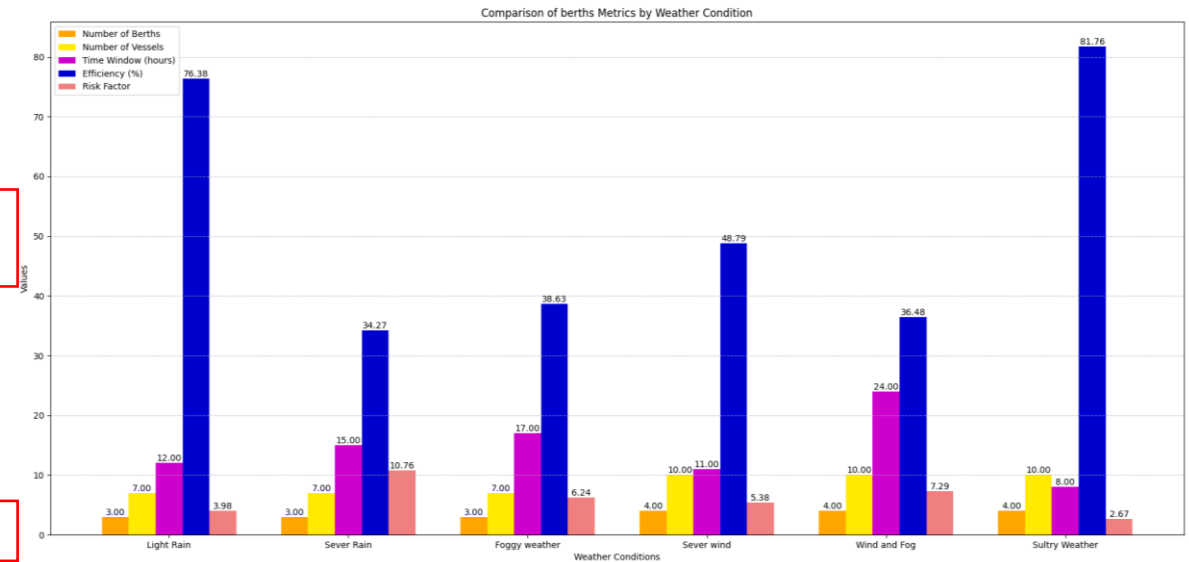
○ آزمایش چهارم – تعداد کشتی و اسکله متغیر

تعداد اسکله-ها	رنج طول اسکله-ها	تعداد پنجره-های زمانی اسکله-ها	تعداد کشتی-ها	میانگین هزینه-ها	زمان اجرا	تعداد گردش الگوریتم	میزان بهره وری اسکله
4	(152 – 439)	12	6	3.34	1.34	55	83.33%
6	(95 - 365)	21	9	2.54	1.78	65	51.39%
8	(93 – 355)	17	11	6.35	2.34	75	53.22%
9	(168 – 381)	10	15	2.38	2.15	80	69.41%



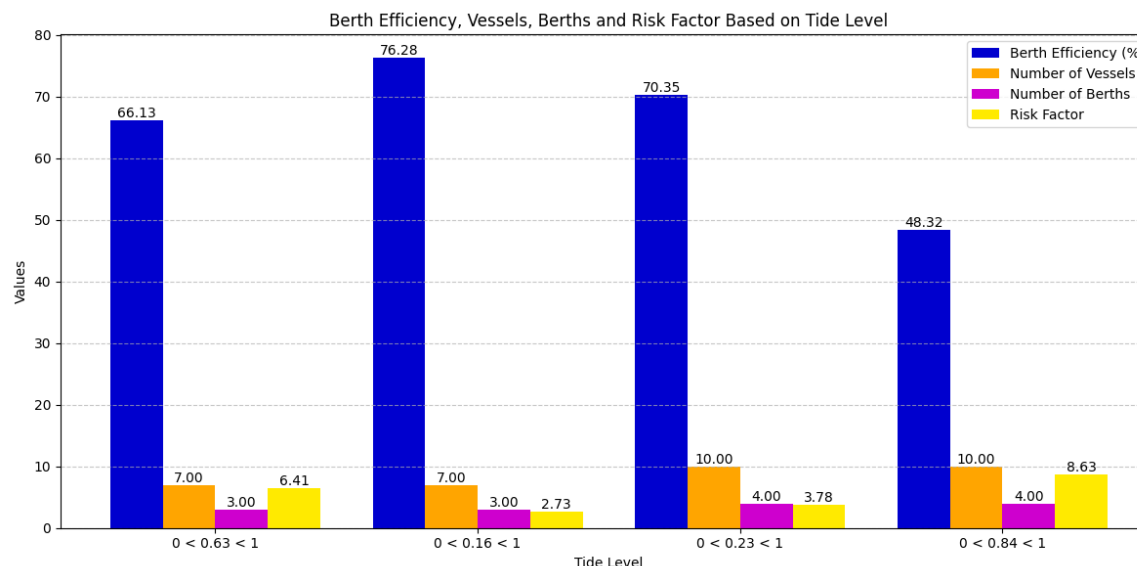
- بر اساس اطلاعات ارائه شده در جدول (۷) و شکل (۵)، نتایج آزمایشی که در آن تعداد کشتی ها و اسکله ها به عنوان متغیر اصلی در نظر گرفته شدند، حاکی از تأثیرات قابل توجهی بر بهره وری اسکله است.
- این آزمایش به روشنی نشان داده است که نسبت پنجره های زمانی به تعداد اسکله ها به سه برابر افزایش یافته و در عین حال تعداد کشتی ها به نیمی از تعداد پنجره های زمانی کاهش یابد، بهره وری اسکله به حداکثر سطح خود می رسد. این بینش می تواند به طراحی و برنامه ریزی کارآمدتر پایانه های دریایی کمک کند، چرا که نشان می دهد مدیریت بهینه زمان و فضای موجود تا چه اندازه می تواند بر روی کارایی کلی تأثیر مثبت بگذارد.

شرایط آب و هوا	تعداد اسکله	رنج طول اسکله‌ها	پنجره‌های زمانی اسکله‌ها	تعداد کشتی	زمان اجرا	تعداد گردش الگوریتم	نرخ فاکتور ریسک	میزان بهره‌وری اسکله
باران اندک	3	(165 - 425)	12	7	1.64	55	3.98	76.38%
باران شدید	3	(159 - 390)	15	7	1.38	65	10.75	34.27%
وضعیت مه	3	(93 - 401)	17	7	1.27	75	6.23	38.63%
باد شدید	4	(141 - 400)	11	10	1.68	80	5.37	48.79%
باد و مه	4	(80 - 267)	24	10	1.41	80	7.29	36.48%
شرجی بالا	4	(128 - 386)	8	10	1.69	80	2.67	81.76%



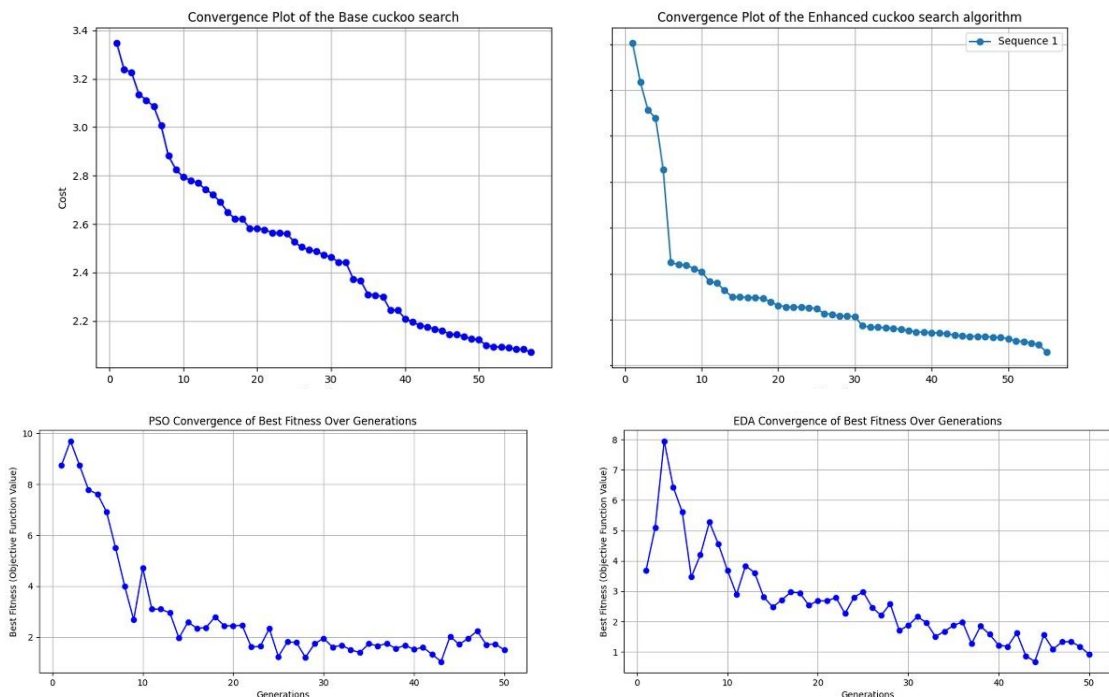
- مطابق شکل (۶) در وضعیت آب و هوایی باد شدید با گسترده‌تر بودن بازه طول اسکله‌ها، و فراهم بودن ۴ اسکله با پنجره زمانی محدود ۱۱ عدد، میزان بهره‌وری افزایش داشته و به ۴۸.۷۹٪ رسیده است.
- در مقابل آن زمانی که شرجی بالا در آب و هوا وجود داشته و پنجره‌های زمانی پردازشی طولانی منظور شده است، همچنین اسکله‌ها رنج وسیع‌تری داشتند با توجه به این نرخ فاکتور ریسک در مقایسه با سایر شرایط آب و هوایی کم تر بوده میزان بهره‌وری اسکله افزایش یافته است. این به معنای آن است که تعداد پنجره‌های زمانی کم اما طولانی در شرایطی که ترافیک پایانه دریایی متوسط باشد می‌تواند به بالا بردن بهره‌وری اسکله کمک کند .

میزان بهره وری اسکله	میزان فاکتور ریسک	تعداد کشتی	تعداد اسکله	وضعیت آب و هوا	میزان سطح جذر
66.13%	6.41	7	3	بارانی و مه	$0 < 0.63 < 1$
76.28%	2.73	7	3	باد ملایم	$0 < 0.16 < 1$
70.35%	3.78	10	4	باد نیمه شدید	$0 < 0.33 < 1$
48.32%	8.63	10	4	بارانی	$0 < 0.84 < 1$



- در این پژوهش، فاکتور ریسک مرتبط با سطح جذر آب دریا بررسی شده و مشخص شده که اگر این مقدار از حد استاندارد فراتر رود، تخصیص اسکله متوقف می‌شود. در شرایطی که سطح جذر بالا باشد، بهره‌وری پایانه دریایی به ۵۰٪ کاهش می‌یابد، به این معنا که نیمی از ظرفیت استفاده نمی‌شود.
- همچنین، با تحلیل همبستگی میان عوامل تأثیرگذار مانند تعداد کشتی‌ها، سطح جذر و بهره‌وری اسکله، نشان داده شده است که افزایش تعداد کشتی‌ها به صورت منفی بر بهره‌وری تأثیر می‌گذارد (ضریب همبستگی -۰.۸۵)، در حالی که سطح جذر تنها تأثیر جزئی دارد (ضریب مثبت ۰.۳). در نتیجه، ایجاد پنجره‌های زمانی طولانی‌تر و استفاده از محل‌های لنگرگیری موقت می‌تواند به بهبود بهره‌وری اسکله‌ها کمک کند.

○ آزمایش هفتم : مقایسه کارایی ۵ الگوریتم



○ یافته‌های این جدول به‌وضوح می‌دهد که الگوریتم فاخته ارتقا یافته توانسته است کمترین میانگین هزینه و حداقل نرخ همگرایی را در میان سایر الگوریتم‌ها به خود اختصاص دهد. این نمرات به‌ویژه از اهمیت بالایی برخوردار هستند، زیرا نشان‌دهنده کارایی و اثربخشی این الگوریتم در حل مسائل پیچیده زمان‌بندی است.

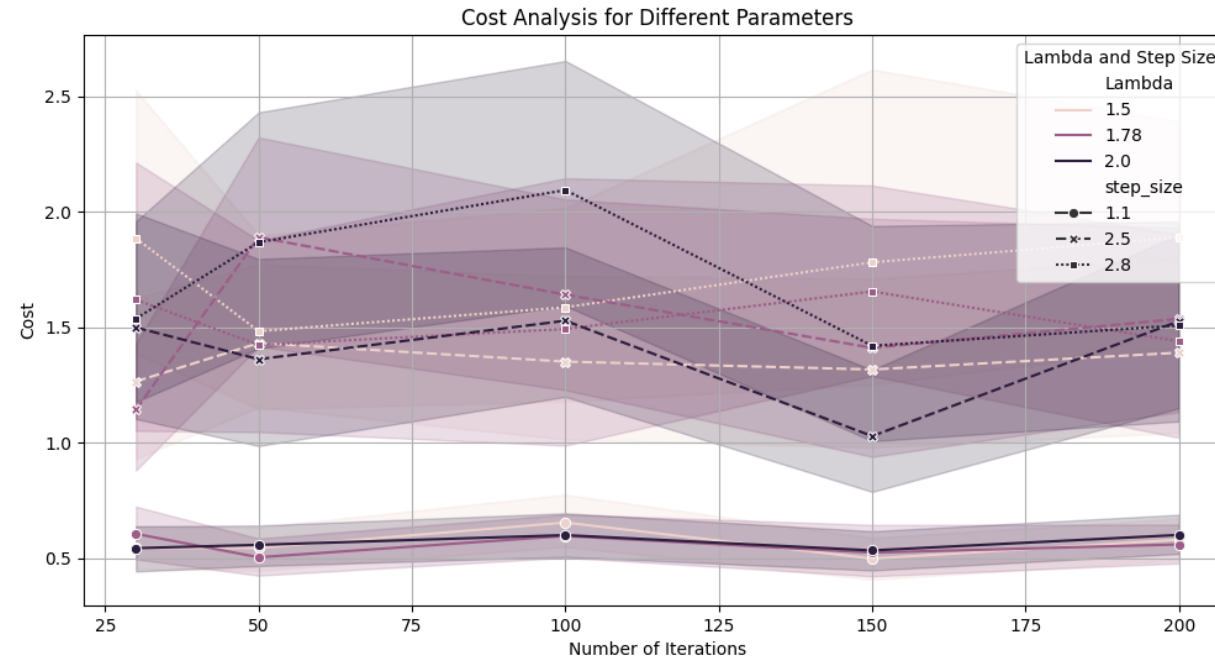
رویکرد	پارامترها	مقدار تابع هدف	زمان اجرا	نرخ همگرایی	CPU	RAM
ورود بر اساس الگوریتم دهنی	-	8.67	0.74s	-	1.56%	73.01%
پایه الگوریتم فاخته	N=66, MaxIter=30, TC=UMI, LSP=1.5, DR=.2, LFD=1.5,	1.36	0.18	10.00	1.03%	75.30%
الگوریتم فاخته ارتقا یافته	N = 100, TC = Using Maximum Iteration, MaxIter = 30, LFD = 1.5, DR = 0.2	1.75	6.48	0.49	4.05%	79.2%
الگوریتم فاخته هنگام یافتن به خوشه گوسی	N=100, MaxIter=55, TC = UMI, LSP = 1.5, DR = 0.2	0.761	7.53	0.027	2.4%	78.8%
الگوریتم بهینه سازی ذرات	N = 66, MaxIter = 70, TC = UMI, W = 0.5, C1 = 1.0, C2 = 1.0	$1.25 \times 10^{-0.5}$	0.195	4036.13	2.9%	77.6%
الگوریتم توزیع بر آورد	N = 66, MaxIter = 50, TC = UMI, LSP = , RR = 1.0, PDM= چند متغیره	4.699	17.26	176.72	3.76%	76.60%

○ آزمایش هشتم

رویکرد	پارامترها	مقدار تابع هدف	زمان اجرا	نرخ همگرایی	CPU	RAM
ورود الویت اساسی بر روی	-	3.715	7.611	-	4.26 %	88.23 %
فاخته پایه الگوریتم	N = 66, Maxltr = 30, TC = UMI, LSP= 1.5, DR= 0.2	1.248	3.201	10.00	1.32%	81.90%
ارتقا یافته الگوریتم فاخته	N= 100, Maxltr= 30, TC=UMI, LSP=1.5, DR=0.2	1.92	4.87	0.309	61.1 %	74.4%
بندی گوسی همراه خوشه یافته به الگوریتم ارتقا یافته	N= 20, Maxltr=55, TC = UMI, LSP = 1.5, DR= 0.2	1.88	6.41	0.058	2.2%	73%
سازي ذرات الگوریتم بهینه	N=66, Maxltr = 50, TC= MGR, W=0.5, C1=1.0, C2=1.0	1.199×10^{-15}	0.18	333.66	2.3%	74.5%
توزیع الگوریتم برآورد	N=66, Maxltr = 70, TC=MGR, LSP= توزیع, RR=1.0, PDM= چند متغیره نرمال	1.603	0.32	0.034	1.36 %	76.09 %

- در بررسی کارایی الگوریتم‌ها بر روی داده‌های تولید شده به روش توالی سبُول، مشخص شد که تابع هدف دارای پیوستگی بالاتری است و نتایج حاصل از الگوریتم‌ها در این شرایط ثابت‌تر هستند، که نشان‌دهنده پایداری و قابلیت اعتماد بیشتر آن‌هاست.
- در میان الگوریتم‌ها، الگوریتم فاخته ارتقا یافته کمی برتر از الگوریتم برآورد توزیع است، که به دلیل طراحی بهینه‌تر و توانایی جستجوی بهتر در فضای جستجو است.
- در مقابل، الگوریتم برآورد توزیع پایه به دلیل تمرکز بر توزیع چند متغیره نرمال ممکن است در یافتن راه‌حل‌های بهینه با چالش‌هایی مواجه شود.
- تعمیم استفاده از این الگوریتم به میزان کاربرد روش پرواز لوی نیز در این زمینه چندان مؤثر نیست. به همین دلیل، نمی‌توان با اطمینان خاطر از این الگوریتم به منظور یافتن بهترین راه‌حل‌های کاندید در فضای گسسته استفاده کرد.

○ تحلیل آنوا الگوریتم پیشنهادی



○ نمودار روند هزینه را بر اساس تعداد تکرارها و تنظیمات پارامترها نشان می‌دهد. با افزایش تکرارها، هزینه یا افزایش می‌یابد یا ثابت می‌ماند که به مقادیر لامبدا بستگی دارد. لامبدا = ۱.۵ افزایش تدریجی هزینه، لامبدا = ۱.۷۸ هزینه ثابت و لامبدا = ۲.۰ هزینه‌های بالاتر را نشان می‌دهد. همچنین، اندازه قدم بر هزینه تأثیر دارد؛ اندازه‌های کوچک‌تر (۱.۱) هزینه‌های کمتری نسبت به بزرگ‌ترها (۲.۵ یا ۲.۸) دارند. مناطق سایه‌دار تغییرپذیری تخمین هزینه‌ها را نشان می‌دهند. این نمودار ارتباط بین تنظیمات پارامتر و نتایج هزینه را به خوبی منتقل می‌کند.

○ این نمودار نتایج یک تحلیل آنوا را نشان می‌دهد که بر هزینه مرتبط با پارامترهای مختلف، به‌ویژه مقادیر متغیر لامبدا و اندازه قدم تمرکز دارد. محور X تعداد تکرارها را از ۲۵ تا ۲۰۰ نمایش می‌دهد و تأثیر آن بر هزینه کلی را نشان می‌دهد. محور Y هزینه را به‌عنوان متغیر وابسته نمایان می‌کند که مقادیر آن بین ۰.۵ تا ۲.۵ متغیر است. نتیجه‌گیری این تحلیل نشان‌دهنده تأثیر تنظیمات مختلف پارامترها بر هزینه کلی می‌باشد.

○ سوالات پژوهش و پاسخ آنها و همچنین پیشنهاد های برخواسته از تحقیق

1. کارایی الگوریتم پیشنهادی با توجه به محدودیت های از پیش تعریف شده چگونه خواهد بود ؟
2. الگوریتم پیشنهادی چگونه در تقابل با محدودیت های مختلف عمل خواهد کرد؟
3. ساختار تجدید نظر شده الگوریتم پیشنهادی تا چه اندازه در بهبود زمانبندی تخصیص اسکله و جرثقیل در بنادر دریایی موثر خواهد بود؟

۱. کارایی الگوریتم پیشنهادی: الگوریتم با استفاده از تکنیک های بهینه سازی و هوش مصنوعی، توانسته کارایی خود را در چارچوب محدودیت های تعریف شده افزایش دهد. این الگوریتم قادر به شناسایی و مدیریت تعاملات پیچیده بین منابع، زمان و هزینه ها است و در مواجهه با محدودیت های فضایی و زمانی، عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم های سنتی دارد.

۲. تقابل با محدودیت ها: این الگوریتم از تکنیک های بهینه سازی و یادگیری ماشین برای شناسایی و طبقه بندی انواع محدودیت ها استفاده می کند. با تحلیل داده ها و استفاده از متغیرهای تعدیل کننده، بهترین حالت تخصیص منابع را در شرایط مختلف پیاده سازی می کند.

۳. بهبود زمان بندی تخصیص اسکله و جرثقیل ها: ساختار تجدید نظر شده این الگوریتم به خصوص در زمان بندی تخصیص اسکله و جرثقیل ها بهبود قابل توجهی دارد. با در نظر گرفتن عواملی مانند سطح دریا و وضعیت آب و هوا، این الگوریتم زمان های تأخیر را به حداقل می رساند و عملکرد کلی را افزایش می دهد، که نتیجه اش کاهش هزینه ها و افزایش رضایت مندی است.

□ کارهای آتی: از جمله کارهای آینده، تحلیل چندمعیاره در تخصیص اسکله ها شامل زمان انتظار، هزینه های عملیاتی و تأثیرات زیست محیطی است که به بهبود تصمیم گیری ها و تخصیص بهینه منابع کمک می کند. همچنین، بررسی ترافیک های غیرمنتظره و تحلیل داده ها برای پیش بینی رفتار آنها می تواند به بهینه سازی عملکرد پایانه های دریایی و افزایش رضایت مندی منجر شود.

فهرست مهم ترین منابع مورد استفاده در پایان نامه

1. Rashidi, H., & Tsang, E. (2023). *Port automation and vehicle scheduling: Advanced algorithms for scheduling problems of AGVs* (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003308386>
2. Aslam, S., Michaelides, M. P., & Herodotou, H. (2023). Berth allocation considering multiple quays: A practical approach using cuckoo search optimization. *Journal of Marine Science and Engineering, 11*(7), 1280. <https://doi.org/10.3390/jmse11071280>
3. Aslam, S., Michaelides, M. P., & Herodotou, H. (2022). Enhanced berth allocation using the cuckoo search algorithm. *Springer Nature Journal of Computer Science, 3*(325). <https://doi.org/10.1007/s42979-022-01211>
4. Rashidi, H., & Tsang, E. (2013). Novel constraints satisfaction models for optimization problems in container terminals. *Journal of Applied Mathematics, 37*(6), 3601-3634. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2012.07.042>
5. Zhang, G., Wu, M., Wujing, L., Xianfeng, O., & Wenwu, X. (2023). Self-adaptive discrete cuckoo search algorithm for the service routing problem with time windows. *Chinese Journal of Electronics, 32*(4). <https://doi.org/10.23919/cje.2022.00.072>
6. Walton, S., Hassan, O., Morgan, K., & Brown, M. T. (2011). Modified cuckoo search: A new gradient free optimization algorithm. *Journal of Chaos, Solitons & Fractals, 44*(9), 710-718. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2011.06.004>
7. Türkoğulları, Y. B., Taşkın, Z. C., Aras, N., & Altınel, İ. K. (2016). Optimal berth allocation, time-variant quay crane assignment and scheduling with crane setups in container terminals. *European Journal of Operational Research, 254*(3), 985–1001. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.04.022>
8. Ma, H., Chan, F. T., & Chung, S. (2014). A fast approach for the integrated berth allocation and quay crane assignment problem. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture, 229*(11), 2076–2087. <https://doi.org/10.1177/0954405414544555>
9. He, J., Tan, C., & Zhang, Y. (2018). Yard crane scheduling problem in a container terminal considering risk caused by uncertainty. *Advanced Engineering Informatics, 39*, 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2018.11.004>
10. Huang, S. Y., & Li, Y. (2018). A bounded two-level dynamic programming algorithm for quay crane scheduling in container terminals. *Computers & Industrial Engineering, 123*, 303–313. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.06.010>

تشکر از حضور و توجه تان