



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

## پیش دفاع

زمانبندی لنگرگیری کشتی‌ها در یک پایانه کانتینری چند اسکله‌ای  
با استفاده از الگوریتم جستجوی فاخته ارتقا یافته

دانشجو: نجمیه سادات صفرآبادی

۴۰۱۱۳۱۴۱۰۳۹

استاد راهنما: دکتر حسن رشیدی

استاد مشاور: دکتر محمد بحرانی

استاد داور: دکتر لطیفه پور محمد باقر

# ساختار گزارش

۱. مقدمه

۲. طرح مسئله

۳. ضرورت و اهمیت تحقیق

۴. انگیزه ها و اهداف

۵. اهداف کلی این پژوهش

۶. روش تحقیق

۷. فرضیه های پژوهش

۸. سوالات پژوهش

۹. مقایسه و بررسی رویکردهای موجود

۱۰. نگاهی به پیشینه پژوهش

۱۱. روش شناسی پژوهش کنونی

۱۲. روش پیشنهادی

۱۳. فرضیات روش پیشنهادی

۱۴. مدلسازی مسئله

۱۵. شرح جزییات در چهارچوب روش پیشنهادی

۱۶. داده های مورد آزمایش

۱۸. آزمایش هایی که تا کنون انجام شده است

۱۹. نتایج کلی بدست آمده

۲۰. کارهای انجام شده

۲۱. خلاصه و جمع بندی

۲۲. مراجع

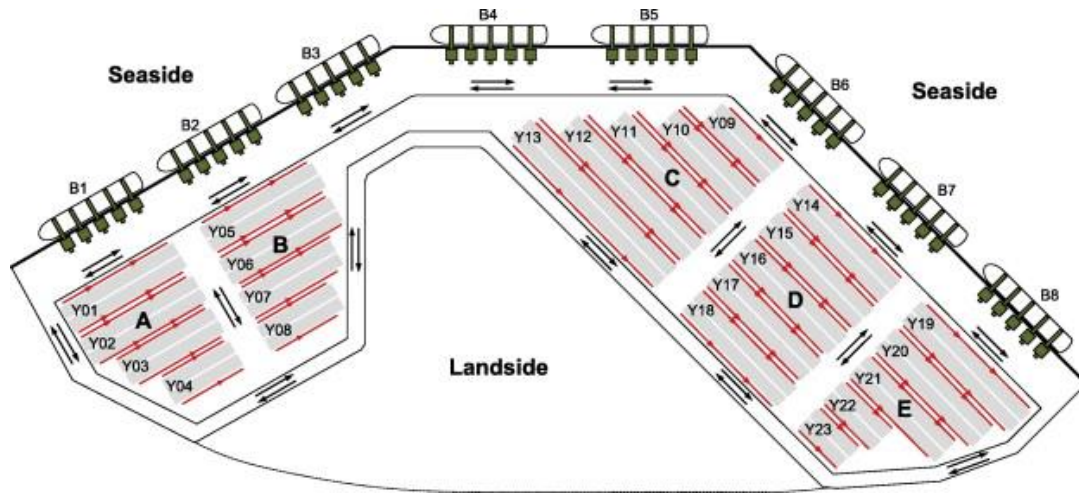


شکل ۱ - کشتی در حال پهلو گرفتن در پایانه دریایی

□ ساخت اسکله در بنادر یکی از پرهزینه‌ترین سرمایه‌گذاری‌هاست و به همین دلیل، ارائه الگوهای مؤثر برای افزایش ظرفیت پایانه‌های دریایی اهمیت دارد. در لجستیک بنادر کانتینری، یکی از تصمیم‌های کلیدی، تخصیص فضای اسکله به کشتی‌های ورودی با توجه به ویژگی‌ها و تعداد کانتینرهاست. هر کشتی دارای یک پنجره زمانی مشخص است و هر گونه تأخیر می‌تواند هزینه‌های پایانه را افزایش دهد. بنابراین، تخصیص بهینه اسکله به کشتی‌ها برای کاهش زمان انتظار و پاسخگویی به پنجره زمانی آن‌ها ضروری است. بهینه‌سازی زمانبندی در این مرحله، بهره‌وری سایر مراحل پردازش کشتی‌ها، از جمله بارگیری و تخلیه، را افزایش می‌دهد و زمان انتقال کانتینرها از اسکله به محل‌های ذخیره‌سازی را کاهش می‌دهد.

□ این پژوهش بر روی پایانه‌های کانتینری متمرکز است و به بهینه‌سازی فرآیند تخصیص اسکله به کشتی‌های ورودی با در نظر گرفتن زمان پهلوگیری و محدودیت‌ها می‌پردازد. هدف اصلی این تحقیق، حداقل کردن زمان انتظار کشتی‌ها برای خروج است. مسئله تخصیص اسکله به صورت عدد صحیح و عدد مختلط خطی فرموله شده و با استفاده از الگوریتم جستجوی فاخته ارتقا یافته حل گردیده است. این راه‌حل بر پایه رویکردی مبتنی بر هوش محاسباتی جمعی و خوشه بندی گوسی ترکیبی ارائه شده و هدف نهایی آن، افزایش کارایی ترمینال کانتینر و کاهش هزینه‌های حمل و نقل در پایانه‌های دریایی است.

## طرح مسئله - چرخه فرآیند پردازشی در پایانه دریایی



شکل ۲ - مراحل تخصیص اسکله

TIME	ws=1	ws=2	ws=3	ws=4	ws=5	ws=6	ws=7	ws=8
berth 1	ship 1				ship 2			
	3	2	2		4	4	5	5
berth 2		ship 3				ship 4		
		4	5			3	3	3
berth 3			ship 5					
			3	3	3	2	2	

شکل ۳ - پلان افقی برنامه ریزی اسکله

چرخه پردازش عملیاتی پایانه دریایی شامل مراحل متعددی است. ابتدا، زمانی که کشتی حامل بار به اسکله می‌رسد، فرآیند تخصیص اسکله به سرعت آغاز می‌شود که در آن زمان و مکان مناسب برای پهلوگیری مشخص می‌شود. پس از تخصیص، بارگیری و تخلیه بار با استفاده از جرثقیل‌ها و ماشین‌های سنگین در ترمینال‌های کانتینر انجام و کانتینرها به صورت موقت در حیاط ذخیره‌سازی نگهداری می‌شوند. این کانتینرها از فضای آب به زمین منتقل شده و سپس برای انتقال به مقاصد نهایی، مانند انبارها یا کشتی‌های دیگر آماده می‌شوند. در نهایت، پس از اتمام فرآیندها، کشتی آماده خروج می‌شود و مستندات نهایی انجام می‌گیرد. این مراحل به‌طور پیوسته تکرار می‌شوند و به بهینه‌سازی عملکرد پایانه دریایی کمک می‌کنند.

تخصیص صحیح اسکله به کشتی‌های ورودی یکی از مهم‌ترین فازهای عملیاتی در پایانه‌های کانتینری است که شامل زمانبندی دقیق ورود کشتی‌ها و طراحی پلان زمان‌بندی افقی می‌شود.

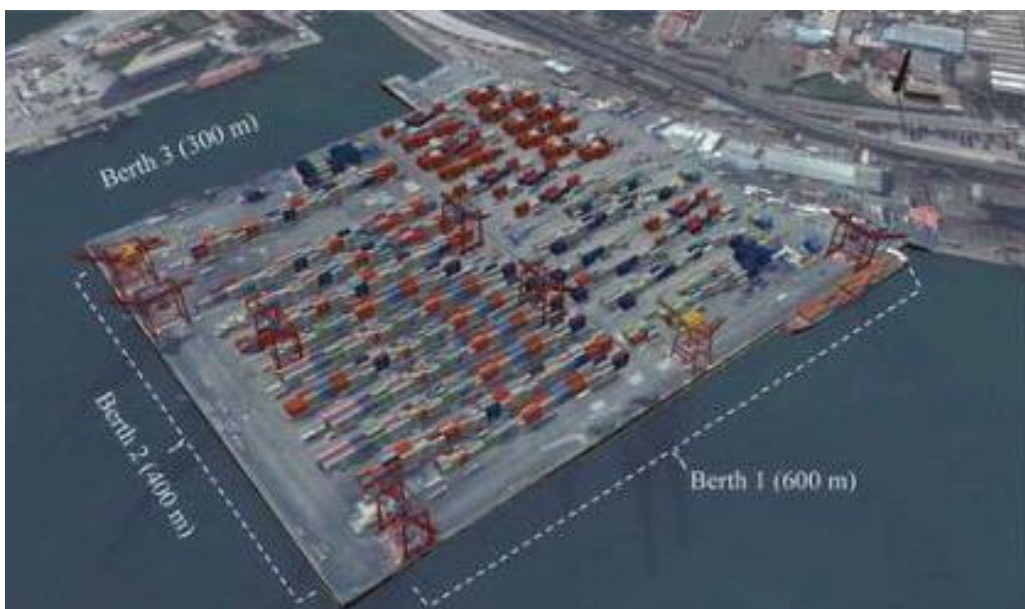
اپراتور ترمینال معمولاً برنامه‌ای برای تخصیص اسکله ایجاد می‌کند که موقعیت و زمان هر کشتی ورودی را نشان می‌دهد.



□ ورودی‌ها به‌عنوان وظایف و اسکله‌ها به‌عنوان ماشین‌های موازی در نظر گرفته شده‌اند. اسکله شماره یک ۶۰۰ متر طول دارد و در حال تخلیه یا بارگیری است، اسکله شماره دو با طول ۴۰۰ متر کمی کوچکتر است و یک کشتی دیگر در حال تخلیه یا بارگیری در آن قرار دارد. اسکله شماره سه، با طول ۳۰۰ متر، کوچکترین اسکله بوده و در حال حاضر هیچ کشتی در آن لنگر نمی‌اندازد.



□ مسئله تخصیص اسکله در پایانه‌های کانتینری به عنوان زیرمجموعه‌ای از برنامه‌ریزی تخصیص منابع تحت محدودیت‌ها طبقه‌بندی می‌شود و معمولاً با برنامه‌نویسی عدد صحیح مدل‌سازی می‌شود. در این پژوهش، زمانبندی تخصیص اسکله‌ها به کشتی‌ها به صورت تابع هدف خطی و به‌عنوان نوع گسسته مدل‌سازی می‌شود.



## سوال های مطرح شده در این پژوهش

در این پژوهش این مسئله به وسیله الگوریتم جستجوی فاخته حل شده است. این رویکردی مبتنی بر هوش محاسباتی است. زمان کل پردازش هر کشتی از قبل به عنوان ورودی تعریف شده است.

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. بر مبنای تعریف این مسئله سوال های پژوهشی روبرو مطرح می شوند:

۱

ساختار ارتقا یافته الگوریتم پیشنهادی تا چه اندازه در بهبود زمان بندی تخصیص اسکله و جرثقیل در بنادر دریایی موثر خواهد بود؟

۲

کارایی الگوریتم پیشنهادی با توجه به محدودیت های از پیش تعریف شده، فاکتورهای هزینه را چگونه تحت تاثیر خود قرار می دهد؟

۳

الگوریتم پیشنهادی طبق سناریوهای مختلف بر اساس محدودیت ها چگونه عمل خواهد کرد؟

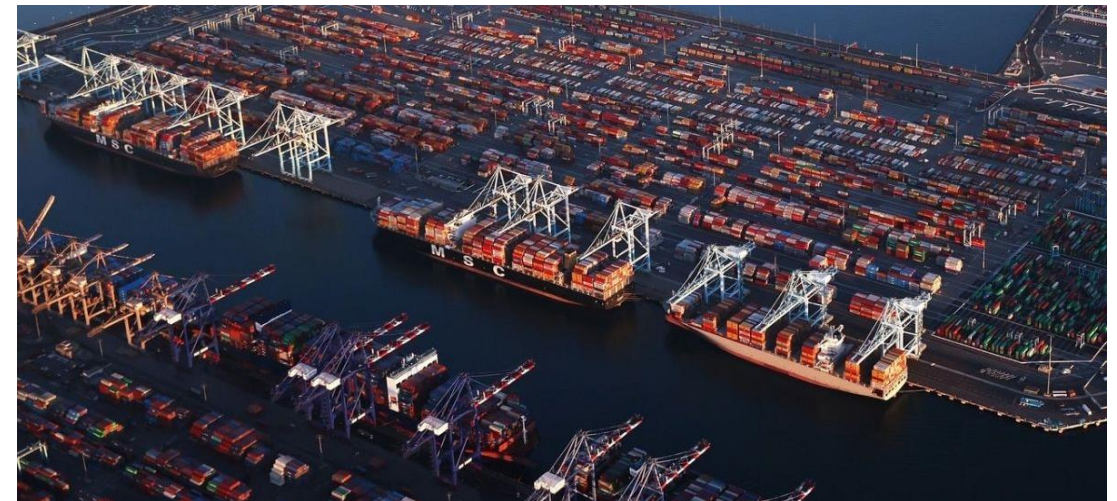
- ۱ ✓ پژوهش در تخصیص اسکله از نظر بهینه‌سازی عملیات بندر و افزایش بهره‌وری پر اهمیت قلم داد می شود.
- ۲ ✓ استراتژی‌های مؤثر تخصیص اسکله می‌توانند استفاده از منابع، از جمله نیروی کار و تجهیزات رو بهبود ببخشند.
- ۳ ✓ این کمک می‌کند تا زمان انتظار کشتی‌ها کم شوند و هزینه‌های عملیاتی کاهش پیدا کنند.
- ۴ ✓ تحقیقات تأثیر عوامل مختلف، مثل شرایط جوی و نوع بار، روی زمان‌بندی تخصیص اسکله شناسایی می‌کند.
- ۵ ✓ الگوریتم‌ها و مدل‌های پیشرفته‌ای که از طریق تحقیقات توسعه پیدا می‌کنند و می‌توانند با محیط‌های پویا و بندر سازگار بشوند.
- ۶ ✓ درک مسأله تخصیص اسکله به تصمیم‌گیری بهتر و برنامه‌ریزی استراتژیک از سوی مسئولین بندر کمک می‌کند.
- ۷ ✓ در نهایت، پژوهش به پایداری و رقابت‌پذیری لجستیک دریایی و زنجیره‌های تأمین کمک می‌کند.



## ○ انگیزه های و اهداف



- ❑ تخصیص صحیح اسکله ها به کشتی های ورودی در بندر یکی از مهم ترین محدودیت ها در برنامه ریزی عملیاتی است.
- ❑ این پژوهش به دنبال فرموله کردن فرضیه های مرتبط و ارائه مدلی پویا برای تخصیص اسکله با زمان بندی کارآمد است.
- ❑ انگیزه اصلی حل این مسئله، ارائه راه حلی با سرعت محاسباتی مناسب است، زیرا تخصیص لنگرگاه یک مسئله NP-hard محسوب می شود. مشکلاتی مانند ازدحام، زمان انتظار طولانی، تأخیر در خروج و هزینه های بالای عملیات، از جمله چالش های موجود هستند.



- ❑ یکی از مهم ترین محدودیت ها در تخصیص اسکله، فراهم کردن زمان و موقعیت همسو با پلان برنامه ریزی افقی است تا تعداد مشخصی از اسکله ها به کشتی های ورودی تخصیص یابد. الگوریتم مورد استفاده، الگوریتم فاخته ارتقا یافته است.
- ❑ تصمیم گیری در این زمینه می تواند پنجره ای یک هفته ای یا حداکثر سی روزه داشته باشد و بر اساس زمان ورودی و خروجی به روز شود.
- ❑ هدف اصلی پژوهش، توسعه الگوریتم هایی برای کاهش زمان انتظار کشتی ها و بهبود فرآیند زمان بندی با استفاده از داده های زمان واقعی است. همچنین، پژوهش به شناسایی تنظیمات بهینه اسکله برای افزایش ظرفیت و کاهش ترافیک می پردازد و در نهایت، بهبود کیفیت خدمات و رقابت پذیری کلی بندر را هدف قرار می دهد

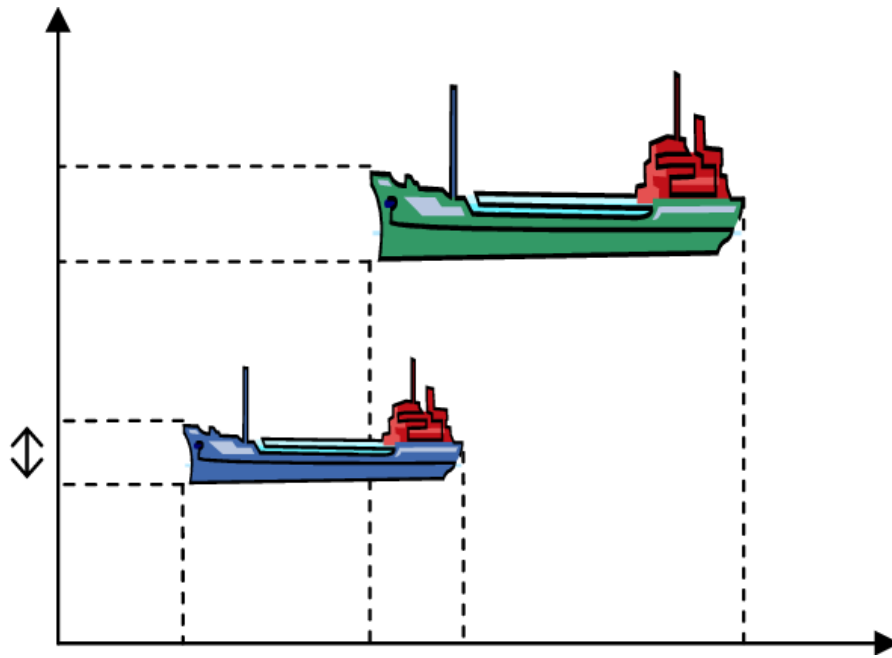




■ Mathematical Modeling ■ Algorithm Development ■ Simulation Techniques

1. تنوع متغیرها در تخصیص اسکله نیاز به تعریف اصول سیستماتیک قبل از آزمایش را نمایان می‌سازد، تا بتوان به بهترین شیوه ممکن منابع را تخصیص داد.
2. تحقیق آماری شامل نقد و بررسی عمیق اطلاعات مربوط به عملکرد اسکله و تخصیص منابع است.
3. تحقیق کمی بر مسائل کاربردی در تخصیص اسکله متمرکز است و شامل نسل داده‌های کمی برای تجزیه و تحلیل‌های دقیق می‌باشد، که می‌تواند به تصمیم‌گیری بهتر کمک کند.
4. تحقیقات تجربی و شبیه‌سازی می‌توانند برای بررسی اثرگذاری متغیرهای مختلف مانند حجم بار، نوع کشتی‌ها و زمان تخلیه بر پایداری و کارایی اسکله استفاده شوند.
5. این رویکرد به تحقیقات استنباطی، تجربی و شبیه‌سازی تقسیم می‌شود، که هر یک می‌تواند به بهبود فرآیند تخصیص اسکله کمک کند. هدف استنباطی ایجاد ساختاری برای استنباط ویژگی‌ها و روابط متغیرها در زمینه تخصیص منابع اسکله است، که می‌تواند به بهینه‌سازی عملکرد و کاهش هزینه‌ها منجر شود.

## فرضیه‌های کلی در مورد زمان پردازش:



- ☐ ۱- تنها یک بندر با چند اسکله برای پهلوگیری کشتی‌ها وجود دارد.
- ☐ ۲- مدل‌ها به گونه‌ای فرموله می‌شوند که مجموع زمان انتظار و پردازش کشتی‌ها بهینه شود.
- ☐ ۳- هر کشتی تنها در یک اسکله قرار دارد و توسط یک جرثقیل مدیریت می‌شود، بارگیری یا تخلیه تا پایان کار پیوسته انجام می‌شود.
- ☐ ۴- پنجره زمانی ثابت برای اسکله‌ها در نظر گرفته می‌شود و طول لنگرگیری متناسب با طول اسکله‌های تخصیص داده شده است.
- ☐ ۵- هر کشتی یک اسکله ترجیحی برای پهلوگیری دارد که به دلیل نزدیکی به محل ذخیره‌سازی و هماهنگی با طول کشتی است.
- ☐ ۶- تصمیم‌گیری در مورد زمان لنگرگیری و موقعیت کشتی در یک فاز انجام می‌شود.
- ☐ ۷- هر کشتی دارای دوره زمانی پهلوگیری از پیش تعیین شده است و جریمه‌ای در صورت زود یا دیر حرکت کردن اعمال می‌شود.

## ○ تابع هدف مطرح در مسئله و متغیرهای تصمیم گیری

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

□ 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 پنالتی 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.

ردیف	پارامتر	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	m	تعداد اسکله ها در بندر.
۸	$c1k$	هزینه جریمه کشتی $k$ در صورتی که کشتی نتواند در اسکله دلخواه خود پهلو بگیرد.
۹	$c2k$	هزینه جریمه کشتی $k$ در واحد زمان ورود زودتر قبل از $ETA_k$ .
۱۰	$c3k$	هزینه جریمه کشتی $k$ در واحد زمان دیر رسیدن پس از $ETA_k$ .
۱۱	$c4k$	هزینه جریمه کشتی $k$ به ازای واحد تاخیر در زمان مقرر.

## ○ پارامترهای مسئله

## ○ متغیرهای تصمیم گیری مورد نظر

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

به صورت رسمی، متغیرهای تصمیم گیری در این مسئله عبارتند از:

□  $At_k$ : زمان واقعی لنگرگیری کشتی  $k$  به یک اسکله.

$$\text{Domain}(At_k) = \{1, 2, 3, 4, \dots, T\}$$

□  $Dt_k$ : زمان خروج کشتی  $k$  از اسکله لنگرگیری شده

$$\text{Domain}(Dt_k) = \{1, 2, 3, 4, \dots, T\}$$

□  $X_{itk}$ : 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.

$$\text{Domain}(X_{itk}) = \{0, 1\}$$



## ○ بیان محدودیت ها

در فرموله کردن مسئله، ۳ محدودیت زیر در نظر گرفته می شود:

$$\forall_k, DT_k - AT_k \geq Processing_k \quad (4.1)$$

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

- **محدودیت ۱:** این محدودیت بیان می کند که زمان پردازش کوچک تر و یا مساوی زمان ورود منهای زمان خروج است.

$$X_{mk} = \{0,1\}, Q_k = \{1, \dots, M\} \quad (4.2)$$

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

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

$$\sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M X_{\{tmk\}} \geq process_k, \quad for k = 1, \dots, l \quad (4.3)$$

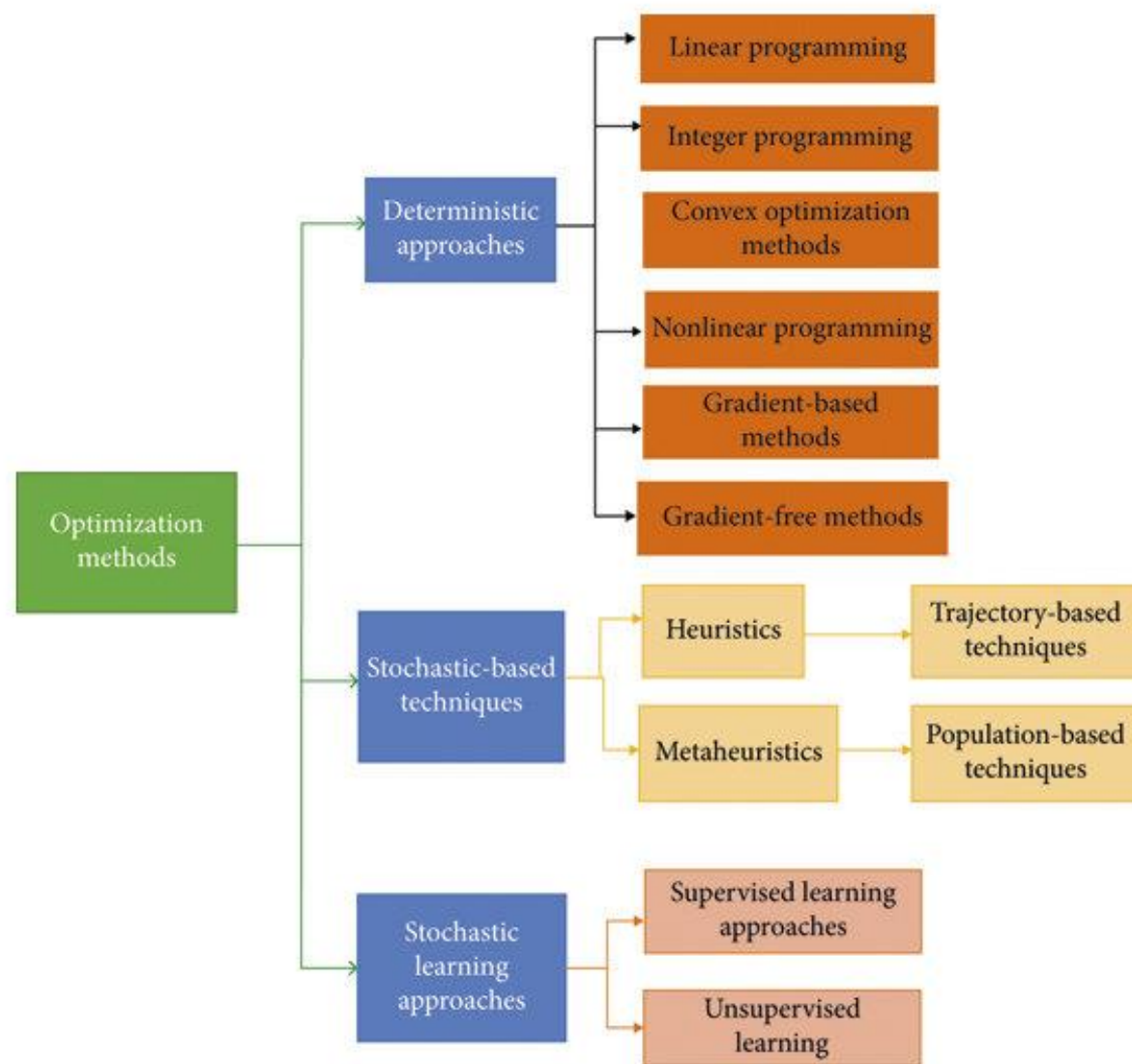
$$if Q_k = m \rightarrow At_k = Min_t y_{\{tmk\}}, \quad for k = 1, \dots, l$$

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

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

# نگاهی به پیشیه پژوهش

نویسندگان	مسئله حل شده	راه حل پیشنهادی	طراحی اسکله	نقاط قوت	نقاط ضعف
رشیدی و همکاران (۲۰۱۳)	تخصیص اسکله و جرثقیل در بندر با طراحی موازی و پیوسته	فرموله بندی عدد صحیح و استفاده از سیستم گرید بندی، به کارگیری الگوریتم هیوریستیک	منفرد موازی	فرمول بندی جامع مسئله، بررسی اسکله در وضعیت-هایی که چندین جرثقیل در پایانه فعال باشند	عدم بررسی پایانه با طراحی چندین اسکله
ما و همکاران (۲۰۱۴)	رویکرد سریع برای تخصیص اسکله یکپارچه و مسئله تخصیص جرثقیل‌ها در اسکله	الگوریتم ژنتیک یک سطحی و الگوریتم ژنتیک دو سطحی	اسکله یکپارچه موازی	الگوریتم در صورت وجود به جواب بهینه می‌رسد	تجزیه الگوریتم ژنتیک جهت جلوگیری از گیر افتادن در نقطه بهینه محلی، عدم بررسی بندر با چند اسکله
تورکوگلاری و همکاران (۲۰۱۶)	تخصیص بهینه اسکله، تخصیص جرثقیل‌ها را به صورت متغیر پویا و متغیر با زمان	الگوریتم صفحه برش	اسکله یکپارچه موازی	به حجم محاسباتی کمی نیاز دارد و در مسئله با پیش فرض‌های ساده به سرعت همگرا می‌شود.	تنوع راه حل در آن محدود است، کارایی محدود و سرعت همگرایی نسبتاً پایینی دارد.
هوانگ و ل آی (۲۰۱۸)	فرم ساده تخصیص اسکله و جرثقیل	یک الگوریتم برنامه نویسی پویا دو سطحی محدود	اسکله یکپارچه موازی	سرعت بالا در ارائه جواب، الگوریتم در صورت وجود به جواب بهینه می‌رسد.	فرموله کردن مسئله پیچیدگی بالایی دارد و در تعمیم برای حل حالت کلی مسئله، ضعیف عمل می‌کند.
او و همکاران (۲۰۱۹)	مسئله تخصیص اسکله و جرثقیل برای تبادل بین صرغه جویی در انرژی و زمان	مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط	اسکله یکپارچه موازی	در به کار گیری این روش، می‌توان چندین تصمیم گسسته را با هم ادغام کرد و از متغیرهای مختلف در حل مسئله استفاده کرد	به تغییرات در فرضیات مسئله حساس است، نمی‌توان از آن برای مسائل با مقایس بزرگ استفاده کرد
ملک احمدی و همکاران (۲۰۲۰)	تخصیص اسکله پیوسته را به صورت یکپارچه و زمانبندی تخصیص جرثقیل‌ها را با محدودیت‌های فیزیکی	الگوریتم فرا ابتکاری مبتنی بر بهینه‌سازی ازدحام ذرات ارتقا یافته	اسکله یکپارچه پیوسته	دقت و زمان محاسباتی، بهتری نسبت به الگوریتم بر بهینه‌سازی ازدحام ذرات پایه داشته است	در این الگوریتم احتمال بیش برآزش وجود دارد، پارامترهایی دارد که به تنظیمات حساسیت بالایی دارند
تان و همکاران (۲۰۲۱)	مسئله زمان بندی جرثقیل‌های خودکار برای ترمینال‌های کانتینری	مدل برنامه ریزی اعداد صحیح ترکیبی	اسکله یکپارچه پیوسته	کیفیت راه حل ارتقا یافته و استحکام بالاتری در این مسئله خاص دارد در نتیجه کاربردی‌تر است	ترکیب چند الگوریتم برنامه ریزی عدد صحیح منجر به تعامل‌های غیر قابل پیش بینی پارامترها در مسائلی که شرایط و متغیرهای آن تغییر کرده است می‌شود
آسلام و همکاران (۲۰۲۳)	تخصیص لنگرگاه و جرثقیل با طراحی چند اسکله	الگوریتم فراابتکاری فاخته	لنگرگاه با طراحی چند اسکله غیر موازی با طول‌های متفاوت	لنگرگاه با طراحی چند اسکله در نظر گرفته شده است. تعادل بالایی بین کشف و بهره برداری ارائه شده است. انعطاف پذیری، قابلیت تعمیم و مقیاس پذیری بالایی دارد.	عدم بررسی فضای جستجوی گسسته



روش ها مختلف حل  
مسائل بهینه سازی

## ○ توضیحات مقدمه ای بر انواع روش های بهینه سازی

ردیف	روش بهینه سازی	توصیف انواع روش های زیر شاخه	مثال الگوریتم از این روش حل
۱	رویکردهای قطعی	تعریف: روش هایی که خروجی خاصی را برای ورودی ها بدون در نظر گرفتن فاکتور تصادفی بودن اعمال می کنند.	-
۲	رویکردهای قطعی	برنامه ریزی خطی: روش بهینه سازی برای تابع هدف خطی که محدودیت های خطی در آن لحاظ شده است.	Simplex Method
۳	رویکردهای قطعی	برنامه ریزی عدد صحیح: عدد صحیح بودن برخی و یا تمام متغیرها الزامی است.	Cutting Plane Method
۴	رویکردهای قطعی	بهینه سازی محدب: توابع محدب را بهینه می کند و از یافتن نقطه بهینه سراسری اطمینان کسب می کند.	Interior Point Method
۵	رویکردهای قطعی	بهینه سازی غیر خطی: توابع و محدودیت های غیر خطی را بهینه می سازد.	Sequential Quadratic Programming (SQP)
۶	رویکردهای قطعی	روش های مبتنی بر گرادیان: از اطلاعات گرادیان برای پیدا کردن نقطه بهینه استفاده می کند.	Gradient Descent
۷	رویکردهای قطعی	روش های بدون گرادیان: در این روش ها برای یافتن نقطه بهینه نیازی به فراهم بودن اطلاعات گرادیان نیست.	Nelder-Mead Method



## ○ توضیحات مقدمه ای بر انواع روش های بهینه سازی

ردیف	روش بهینه سازی	توصیف روش	مثال
۷	رویکردهای تصادفی	در بهینه سازی از فاکتور تصادفی بودن بهره می برد	-
۸	رویکردهای تصادفی	راه حل های اکتشافی : راهبردهایی قاعده مند که بر اساس شرایط مسئله تعریف می شود.	-
	رویکردهای تصادفی	تکنیک های مبتنی بر مسیر: مسیری را برای کشف فضای جستجو در پی می گیرند.	<b>Particle Swarm Optimization</b>
	رویکردهای تصادفی	روش های فرا اکتشافی: فرآیندهای سطح بالاتری که سایر راه حل های اکتشافی را هدایت می کنند.	<b>Ant Colony Optimization</b>
	رویکردهای تصادفی	راه حل های مبتنی بر جمعیت: به تحلیل مجموعه ای از راه حل ها برای کشف راه حل کاندید می پردازند.	<b>Cuckoo search Algorithms</b>
۹	رویکردهای یادگیری تصادفی	این روش ها از داده هایی که فاکتور تصادفی بودن در آنها اعمال شده می آموزند.	-
۱۰	رویکردهای یادگیری تصادفی	یادگیری با نظارت: از برچسب داده جهت آموزش مدل ها استفاده می کنند.	<b>Decision Trees</b>
۱۱	رویکردهای یادگیری تصادفی	به برسب نیازی ندارد و الگوها را در داده کشف می کند.	<b>Hierarchical Clustering</b>

## ○ مقایسه روش ها و رویکردهای موجود

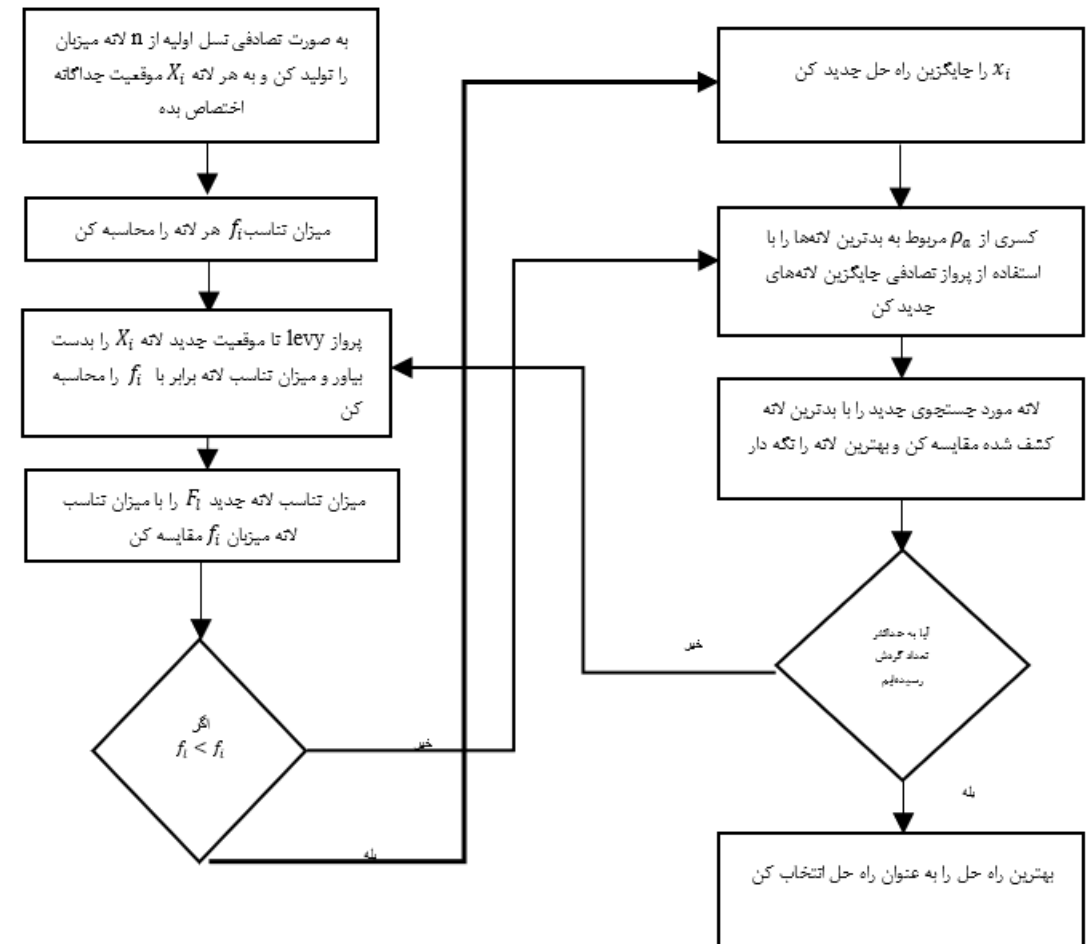
- ❑ **دسته اول روش ها - روش های قطعی:** شامل شش دسته از جمله برنامه ریزی خطی، عدد صحیح، بهینه سازی محدب، غیرخطی، روش های مبتنی بر گرادیان و بدون گرادیان هستند. این روش ها برای حل مسائلی با ویژگی های قابل بهره برداری مناسباند و به محاسبه نتایج بهینه سراسری کمک می کنند. معمولاً در موقعیت هایی با الگوهای مشخص در داده ها و روابط متغیرها به کار می روند.
- ❑ **دسته دوم روش ها - روش های تصادفی:** این رویکردها احتمال پیدا کردن راه حل بهینه سراسری را دارند و معمولاً در مسائل پیچیده و با فضای جستجوی بزرگ، برتری دارند. بهینه سازی تصادفی می تواند زمان اجرا را کنترل کند و نتایج را سریع تر به دست آورد، حتی اگر تنها یک نقطه بهینه محلی وجود داشته باشد.
- ❑ **دسته سوم روش ها - روش های مبتنی بر یادگیری تصادفی:** این الگوریتم ها بر روی داده های تاریخی با تنوع بالا آموزش می بینند. چالش هایی مانند پراکندگی و تأخیر در بازخوردها، پیچیدگی تعریف پاداش و عدم قطعیت در محیط، استفاده از این سیستم ها را دشوار می کند و به همین دلیل، این الگوریتم ها به عنوان اولویت در حل مسئله تخصیص اسکله در پایانه های کشتی رانی در نظر گرفته نشده اند.
- ❑ **(راه حل پیشنهادی):** الگوریتم جستجوی فاخته، یک الگوریتم فرا ابتکاری است که در توسعه آن، از مکانیزم تولید مثل گونه های فاخته الگو گرفته شده و موثرتر از سایر الگوریتم های هم ردیف خود است.
- ❑ الگوریتم های فرا ابتکاری مدرن از جمله الگوریتم فاخته با سه هدف اصلی توسعه داده شده اند. هدف اصلی این است که در جستجوی سراسری بتوان مسائل را سریع تر حل کرد، به بهینه سازی مسائل بزرگ تر پرداخت و الگوریتمی قدرتمندتری بدست آورد.
- ❑ یکی از فاکتورهای برتری الگوریتم فاخته این است که در بهینه سازی سراسری بسیار مؤثر عمل می کند و این قابلیت را دارد تا تعادلی بین پیاده روی محلی و سراسری برقرار کند [6]. در ساختار این الگوریتم هر لانه منفرد نشان دهنده راه حل های ممکن برای زمان واقعی استقرار در اسکله، اسکله تخصیص داده شده و زمان خروج کشتی است.
- ❑ الگوریتم جستجوی فاخته از نظر کارایی و سرعت همگرایی نسبت به الگوریتم دیفرانسیل تکاملی برای رسیدن به نقطه بهینه عملکرد بهتری دارد. علاوه بر آن الگوریتم فاخته از نظر محاسباتی کارایی بهتری نسبت به الگوریتم ازدحام ذرات دارد.

## چهارچوب روش پیشنهادی

### Algorithm 1. Cuckoo search (CS)

1. Initialize a population of  $n$  host nests  $X_i, i = 1, 2, \dots, n$
2. **For** all  $X_i$  **do**:
  - Calculate fitness  $F_i = f(X_i)$
1. End for
2. **While** NumberObjectiveEvaluations < MaxNumberEvaluations **do**:
  3. Generate a cuckoo egg ( $X_j$ ) by taking a levy flight from random nest
  4.  $F_i = f(X_i)$
  5. Choose a random nest  $i$
  6. **If** ( $F_j > F_i$ ) **then**:
    7.  $X_i \leftarrow X_j$
    8.  $F_i \leftarrow F_j$
  9. **End if**
10. Abandon a fraction  $\rho_a$  of the worst nests
11. Build new nests at new locations via levy flights to replace nests lost
12. Evaluate fitness of new nests and rank all solutions
13. **End while**

در این پژوهش برای حل مسئله زمان‌بندی تخصیص اسکله به کشتی‌های ورودی در بندر، از الگوریتم جستجوی فاخته بهره می‌بریم. شبه کد مربوط به این الگوریتم، به صورت روبرو است.



شکل ۴ - روند اجرای الگوریتم فاخته اولیه

## ○ شرح جزییات در چهارچوب روش پیشنهادی

- الگوریتم جستجوی فاخته، یک الگوریتم فرا ابتکاری است که در توسعه آن، از مکانیزم تولید مثل گونه‌های فاخته الگو گرفته شده و موثرتر از سایر الگوریتم‌های هم ردیف خود است.
- الگوریتم‌های فرا ابتکاری مدرن از جمله الگوریتم فاخته با سه هدف اصلی توسعه داده شده‌اند. هدف اصلی این است که در جستجوی سراسری بتوان مسائل را سریع‌تر حل کرد، به بهینه سازی مسائل بزرگ تر پرداخت و الگوریتمی قدرتمندتری بدست آورد.

در هر گردش الگوریتم با استفاده از پرواز levy تعداد کل لانه‌های میزبان مشخص می‌شود:

- ✓ . پرواز levy در فرآیند پردازش تصادفی، اغلب قدم‌هایی با طول کوتاه تولید می‌کند که در پی آن گام‌هایی با طول بلند ایجاد شده و برای پیدا کردن بهترین جواب، این گام‌ها طی می‌گردد.
  - ✓ برای آنکه پرواز levy به کارایی ایده‌آل خود در حل مسائل بهینه سازی دست یابد بر روی استراتژی ترکیب قدم‌های کوتاه و بلند تکیه می‌کند.
- در این رابطه  $u \sim N(0, \delta^2)$ ,  $\beta=1.5$  و  $v \sim N(0,1)$  است [5]. (رابطه ۲)



## شبه کد پیاده روی تصادفی levy

```
FUNCTION LevyFlight(Lambda)
    //Generate a random step size using the Levy distribution
    // Lambda is a parameter that controls the distribution's shape
    u = RANDOM() // Generate a random number from a uniform distribution (e.g., U(0, 1))
    v = RANDOM() // Generate another random number from a uniform distribution (e.g., U(0, 1))
    // Calculate the step size using the Levy distribution formula
    // The step size is inversely proportional to the absolute value of v raised to the power of (1/Lambda)
    step = u / (ABS(v) ^ (1 / Lambda))
    // Return the calculated step size, which may be positive or negative
    RETURN step

FUNCTION RandomWalkWithLevyFlight(position, Lambda)
    // Generate a step size using the Levy flight function
    step = LevyFlight(Lambda) // Get the step size based on the Levy distribution
    // Update the current position by adding the step size
    newPosition = position + step // Calculate the new position
    RETURN newPosition

// Example
INITIALIZE position
SET Lambda = 1.5 // Set the Lambda value for the Levy distribution
// Perform multiple random walks using Levy flight
FOR i FROM 1 TO numberOfWalks DO
    position = RandomWalkWithLevyFlight(position, Lambda) // Update the position
    PRINT position // Output the new position for each step
ENDFOR
```

**Algorithm 2. Modified cuckoo search (MCS)**

1.  $A \leftarrow \text{MaxLevyStepSize}$
2.  $\varphi \leftarrow \text{GoldenRatio}$
3. Initialize a population of  $n$  nests  $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$
4. **For all**  $X_i$  **do**:
5.     Calculate fitness  $F_i = f(x_i)$
6. **End for**
7. Generation number  $G \leftarrow 1$
8. **While**  $\text{NumberObjectionEvaluations} < \text{MaxNumberEv}$
9.      $G \leftarrow G + 1$
10.     Sort nests by order of fitness
11.     **For all** nests to be abandoned **do**:
12.         Current position  $X_i$
13.         Calculate levy flight step size  $\alpha \leftarrow A / \sqrt{G}$
14.         Perform levy flight from  $x_i$  to generate new egg  $x_k$
15.          $X_i \leftarrow X_k$
16.          $F_i \leftarrow f(X_i)$
17.     **end for**
18. **For all of the top nests** **do**:
19.     Current position  $X_i$
20.     Pick another nest from the top nests at random  $X_j$
21.     **If**  $X_i = X_j$  **then**:
22.         Calculate levy flight step size  $\alpha \leftarrow A / G^2$
23.         Perform levy flight from  $X_i$  to generate new egg  $X_k$
24.          $F_k = f(x_k)$
25.         Choose a random nest  $l$  from all nests
26.         **If**  $(F_k > F_l)$  **do**:
27.              $X_l \leftarrow X_k$
28.              $F_l \leftarrow F_k$
29.         **end if**
30.     **else**
31.          $dx = |X_i - X_j| / \varphi$
32.         Move distance  $dx$  from the worst nest to the best nest to find  $X_k$
33.          $F_k = f(X_k)$
34.         Choose a random nest  $l$  from all nests
35.         **if**  $(F_k > F_l)$  **then**:
36.             a.  $X_l \leftarrow X_k$
37.             b.  $F_l \leftarrow F_k$
38.         **End if**
39.     **End for**
40. **End while**

Algorithm 4: Enhanced Cuckoo Search (MCS) with Gaussian Mixture Clustering

Input:

$A \leftarrow \text{MaxLevyStepSize}$   
 $\phi \leftarrow \text{Golden Ratio}$   
 $n \leftarrow \text{Number of nests}$   
 $\text{MaxNumberEvaluations} \leftarrow \text{Maximum number of objective evaluations}$   
 $\text{num\_components} \leftarrow \text{Number of Gaussian components for GMM}$

// Initialize nests and evaluate fitness

Initialize a population of  $n$  nests  $X_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )

For all  $X_i$  do:

    Calculate fitness  $F_i = f(X_i)$

End for

Generation number  $G \leftarrow 1$

While  $\text{NumberObjectiveEvaluations} < \text{MaxNumberEvaluations}$  do:

$G \leftarrow G + 1$

    Sort nests by order of fitness (best to worst)

// Abandoning the worst nests

For each  $X_i$  in the set of worst nests do:

    Current position  $X_i$

    // Perform Levy flight to generate new potential egg

    Calculate step size  $\alpha \leftarrow A / \sqrt{G}$

$X_k \leftarrow X_i + \text{LevyFlight}(\alpha)$  // Create new position using Levy flight

$F_k = f(X_k)$  // Evaluate fitness of new position

    Replace  $X_i$  with  $X_k$  if  $F_k$  is better than  $F_i$

End for

// Updating nests based on fitness comparison

For each  $X_i$  in the set of top nests do:

    Current position  $X_i$

    Pick another nest  $X_j$  from the top nests randomly

    If  $X_i = X_j$  then:

        // Perform Levy flight for exploration

        Calculate step size  $\alpha \leftarrow A / \sqrt{G}$

$X_k \leftarrow X_i + \text{LevyFlight}(\alpha)$  // Create new position

$F_k = f(X_k)$  // Evaluate fitness

        Choose a random nest  $l$  from all nests

        If ( $F_k > F_l$ ) then:

$X_l \leftarrow X_k$  // Update position if new position is better

$F_l \leftarrow F_k$

        End if

    Else

        // Perform a deterministic move between nests

$Dx = (|X_i - X_j|) / \phi$  // Move distance calculated based on nest disparity

$X_k = X_i + dx$  // Find new position based on distance

$F_k = f(X_k)$  // Evaluate fitness

        Choose a random nest  $l$  from all nests

        If ( $F_k > F_l$ ) then:

$X_l \leftarrow X_k$  // Update position if new position is better

$F_l \leftarrow F_k$

        End if

    End if

End for

```

// Clustering step using Gaussian Mixture Model (GMM)
Assign clusters to each nest based on GMM output:
    cluster_labels, probabilities ← PerformClustering ( $X_i$ , num_components) // Cluster the nests
End while

// Function to fit GMM to data
Function FitGMM (data, num_components):
    Initialize GMM_model
    GMM_model ← GaussianMixture (n_components=num_components)
    GMM_model.Fit(data) // Fits the GMM model to the data
    Return GMM_model

// Function to perform clustering using GMM
Function PerformClustering ( $X_i$  , num_components):
    // Step 1: Fit GMM to the nest positions
    GMM_model ← FitGMM( $X_i$ , num_components)

    // Step 2: Predict cluster labels for each nest
    Initialize an array cluster_labels of size [length( $X_i$ )]
    For each nest position x in  $X_i$  do:
        Cluster_label ← GMM_model.predict([x])
        Cluster_labels[index(x)] ← cluster_label
    End for
    Probabilities ← GMM_model.predict_proba( $X_i$ )
    Return cluster_labels, probabilities

```

استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی  
ترکیب گوسی



# خلاصه و جمع بندی شرح جزییات در چهارچوب روش پیشنهادی - جزییات روش

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 کشتی ها	$C$	تعداد کشتی های ورودی و خروجی	$C_{total}$
۴	نوع کشتی ها	$K$	نوع کشتی ها بر اساس طول	$K = \{k_1, k_2, k_3, \dots, K_n\}$
۵	زمان برآورد شده ورود و خروج کشتی ها	$T_{estimated}$	زمان برآورد شده ورود و خروج کشتی	$T_{estimated} = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\}$
۶	زمان های 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 می شود	$D_{draft} = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_n\}$
۸	وضعیت جذر سطح دریا	$A$	عمق آب و وضعیت جزر و مد	$A$

نحوه تولید داده و داده های مورد استفاده

- نحوه تولید داده ها: هدف تولید داده توصیف شده آزمایش الگوریتمها و شبیه سازی فرآیند تخصیص است.
- داده به صورت تصادفی تولید شده است و از توزیع یکنواخت و نرمال برای تولید داده های مورد استفاده در این آزمایش استفاده شده است. در یک بازه مشخص در توزیع نرمال هر مقدار احتمال وقوع یکسانی دارد. این ویژگی باعث می شود که داده ها بدون هیچ گونه تمایز خاصی تولید شوند، که برای آزمایش هایی که نیاز به تنوع دارند، بسیار مفید است.
  - از طرفی توزیع نرمال داده های تولید شده از منحنی زنگوله ای پیروی می کنند که در آن بیشترین مقادیر در اطراف یک میانگین تجمعی هستند. با فاصله گرفتن از میانگین، تعداد مقادیر کاهش می یابد. این ویژگی به ما کمک می کند تا الگوهای موجود در داده ها را درک بهتری داشته باشند و پیش بینی های دقیق تری انجام دهیم

## روش‌های تحلیل نتایج نهایی و معیارهای کارایی

- ❑ معیارهای کارایی برای سنجش میزان موفقیت الگوریتم مورد توجه است. از این میان ۳ معیار مد نظر است که اینها شامل:
- ❑ میانگین زمان انتظار از دست رفته است. این معیار به معنی مقدار زمانی است که کشتی طول می کشد تا لنگر بیاندازد و بعد از تمام کار پایانه را ترک کند.
- ❑ معیار دوم نرخ بهره برداری از اسکله است که این درصد استفاده از اسکله در هر پنجره زمانی را نشان می دهد.
- ❑ نهایتاً معیار آخر میزان بهره وری هزینه ها است که این هزینه کل را نسبت به نرخ خروجی اسکله می سنجد.
- ❑ از جهت تحلیل آماری برای سنجش خروجی از معیارهای توصیف آماری میانگین، میانه، واریانس استفاده می کنیم. از جهت تحلیل استنباطی از آزمون Anova برای تحلیل تأثیرات چندین عامل بر یک متغیر وابسته استفاده می شود تا بتوان تفاوت بین استراتژی ها مختلف را شناسایی کنیم.
- ❑ نهایتاً در تحلیل سناریو در آزمایش‌های متعدد فاکتورهای مختلف اثر گذار بر روی بهره وری عملیاتی پایانه دریایی و اسکله‌ها را به کار گرفته می شود.

## کارهای انجام شده

- ❑ **بررسی مدل ریاضی مسئله:** در این بخش، مسئله و اهداف آن تعریف شده و فرضیات مدلسازی به طور مفصل بیان می شوند. این مرحله اهمیت درک چالش ها و اهداف را در فرآیند حل مسئله نشان می دهد و فرضیات کلیدی که بر نتایج مدل تأثیر می گذارند، مورد بررسی قرار می گیرند.
- ❑ **توسعه الگوریتم:** الگوریتم فرا ابتکاری فاخترتقا یافته توصیف می شود و معیارهای ارزیابی کارایی آن بررسی می گردد. مقایسه ای بین خروجی این الگوریتم و سایر الگوریتم ها انجام می شود و معیارهای عملکرد و اثربخشی نیز مورد توجه قرار می گیرد.
- ❑ **نگارش گزارش پژوهش:** مقدمه ای جامع برای گزارش نوشته می شود که اهمیت تحقیق، زمینه موضوع و اهداف پژوهش را تبیین می کند. سپس روش شناسی تحقیق به طور مفصل توضیح داده می شود و در پایان، نتایج به دست آمده به طور منظم ارائه و تحلیل می گردد.

## خلاصه و جمع بندی شرح جزییات در چهارچوب روش پیشنهادی

- ❑ در این ارائه بررسی اجمال از کارهای صورت گرفته در مراحل مختلف و فرآیندهای متعدد این پژوهش انجام گرفته است. آنچه این متن به بررسی مراحل مختلف یک پژوهش می پردازد شامل: ابتدا، مدل ریاضی مسئله و فرضیات آن مورد بررسی قرار می گیرد تا چالش ها و اهداف پژوهش به خوبی درک شوند. سپس، الگوریتم فرا ابتکاری فاخترتقا یافته توصیف و کارایی آن با سایر الگوریتم ها مقایسه می شود. در نهایت، نگارش گزارش پژوهش شامل مقدمه ای جامع، توضیح روش شناسی و تحلیل نتایج به دست آمده است. که این مراحل به طور کلی به هدف بهبود درک و حل مسئله کمک می کنند.

## مهم ترین مراجع مورد استفاده

- [ 1 ]. Rashidi H., Tsang E., (2023). Port automation and vehicle scheduling: Advanced Algorithms for Scheduling Problems of AGVs, (3rd ed.). <https://doi.org/10.1201/9781003308386>
- [ 2 ]. Aslam Sh., P.michaelides M, 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 Sh., Michaelides M., Herodotou H. (2022). Enhanced Berth Allocation Using the Cuckoo Search Algorithm, Springer Nature Journal of Computer Science, volume 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, Volume 37, Issue 6, (3601-3634). <http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2012.07.042>
- [ 5 ]. Zhang G., M. Wu, 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 Vol.32, No.4. <https://doi.org/10.23919/cje.2022.00.072>
- [6]. *Engineering Research Methodology A Computer Science and Engineering and Information and Communication Technologies Perspective*. Available from:  
[https://www.researchgate.net/publication/259183120\\_Engineering\\_Research\\_Methodology\\_A\\_Computer\\_Science\\_and\\_Engineering\\_and\\_Information\\_and\\_Communication\\_Technologies\\_Perspective](https://www.researchgate.net/publication/259183120_Engineering_Research_Methodology_A_Computer_Science_and_Engineering_and_Information_and_Communication_Technologies_Perspective)

با تشکر از توجه تان