استفاده از الگورتیم بهینه‌ساز سوسک سرگین غلتان در تعیین ابعاد کشتی کانتینری

عطاء اله قره چائی [۱*]

[۱] عضو هیات علمی دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، a.gharechae@cmu.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۱۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۰۷
تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۰۸

کلمات کلیدی:
سوسک سرگین غلتان
DBO
بهینه‌سازی
کشتی کانتینری
مقاومت هیدرودینامیکی
نرم‌افزار میپل

چکیده

بهینه‌سازی همواره از مباحث مهم در فرایند طراحی و ساخت مصنوعات دست بشر بوده است. با افزایش توان محاسباتی رایانه‌ها، الگوریتم‌های متعددی در این خصوص توسعه یافته‌اند. در این پژوهش به کمک الگوریتم بهینه‌ساز سوسک سرگین غلتان (DBO) که اخیراً توسعه یافته است، ابعاد اصلی کشتی‌های کانتینری بر حسب ظرفیت بارگیری و سرعت آنها با هدف حداقل مقاومت هیدرودینامیکی به همراه قیدهای متعددی از قبیل محدوده مجاز ابعاد اصلی، تعادل هیدرواستاتیکی و حجم زیرآبی مشخص، بهینه‌سازی شده است. بدین منظور، معادلات حاکم از روش تجربی هولتروپ استخراج شدند. برای صحت‌سنجی، نتایج بدست آمده از الگوریتم DBO با الگوریتم بهینه‌سازی موجود در تابع کتابخانه‌ای Optimization نرم‌افزار میپل مقایسه شدند. نتایج بهینه‌سازی بر روی ابعاد یک فروند شناور کانتینری با ظرفیت 1000 TEU نشان داد که مقاومت هیدرودینامیکی شناور بهینه شده در سرعت 15 knot می‌تواند تا حدود 14% و در سرعت 19 knot تا حدود 21% کمتر از سرعت شناور اولیه گردد. همچنین، در حجم جابجایی ثابت، با افزایش سرعت شناور، طول شناور بهینه شده افزایش، ولی آبخور آن کاهش می‌یابد.

بطور ویژه هدف این پژوهش معرفی توانمندی الگوریتم DBO و کاربرد آن در حل مسائل بهینه‌سازی در مهندسی دریا است.

Using Dung Beetle Optimizer (DBO) for optimizing the main dimensions of container ships

Ataollah Gharechae[1*]

[1]Faculty member of Chabahar Maritime University, a.gharechae@cmu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 06 Dec 2023
Accepted: 27 Jan 2024
Available online: 28 Jan 2024

Keywords:
Dung beetle
DBO
Optimization
Container ship
Hydrodynamic resistance
Maple software

ABSTRACT

In this research, with the help of the recently developed Dung Beetle Optimizer (DBO) algorithm, the main dimensions of container ships in terms of their loading capacity and their speed with the aim of minimum hydrodynamic resistance along with several constraints such as permissible range of main dimensions, hydrostatic stability, and specified underwater volume, has been optimized. For this purpose, the governing equations were extracted from Holtrop's experimental method. For verification, the results obtained from the DBO algorithm were compared with the results of the Optimization library of Maple software. The optimization results on the dimensions of a container ship with a capacity of 1000 TEU showed that the hydrodynamic resistance of the optimized ship at a speed of 15 knots can be reduced by about 14% and at a speed of 19 knots by about 21%. Also, in constant displacement, with the increase of the vessel speed, the optimized vessel length increases, but its draft decreases. In particular, the purpose of this research is to introduce the capabilities of the DBO algorithm and its application in solving optimization problems in marine engineering.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.41.7.7]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.41.85]

۱ - مقدمه

حل مسائل بهینه سازی همواره مورد توجه محققین بوده است. این مسائل در انواع سیستم‌های دنیای واقعی، از جمله سیستم‌های تشخیص عیب [۱, ۲] ، سیستم‌های مدیریت انرژی [۳, ۴] ، سیستم‌های پیش‌بینی [۵, ۶] و مانند آن کاربرد دارد. حل بسیاری از مسائل بهینه‌سازی پیچیده، با استفاده از روش‌های ریاضی مرسوم مانند روش گرادیان مزدوج و یا روش شبه نیوتن دشوار است. در این راستا، الگوریتم‌های بهینه‌سازی هوش جمعی(SI) متعددی با مزایای پیاده‌سازی آسان، توانایی خودآموزی و چارچوب ساده معرفی شده‌اند. فرآیند بهینه سازی عمدتاً شامل دو مرحله است: ۱) ایجاد گروهی از افراد تصادفی در محدوده فضای جستجو و ۲) ترکیب، جابجایی یا تکامل این افراد تصادفی در طول فرآیند تکرار. باید توجه داشت که تفاوت عمده الگوریتم‌های بهینه سازی در نحوه طراحی استراتژی‌های جدید بهینه سازی است، نه دو فرایند اصلی ذکر شده در بالا. به عنوان مثال، یک تکنیک شناخته شده مبتنی بر جمعیت، یعنی تکنیک بهینه‌سازی گروه ذرات[1](PSO) ، با مزایای همگرایی سریع، پارامترهای کم و دقت حل رضایت‌بخش، مورد توجه محققین بوده است [۷, ۸]. در یک الگوریتم استاندارد PSO، همه ذرات با توجه به سرعت و موقعیت خود به طور کامل فضای جستجوی مسئله بهینه‌سازی را کاوش می‌کنند. بتدریج، حرکت کل گروه از بی نظمی به نظم تکامل می‌یابد و در نهایت همه ذرات در بهترین موقعیت خوشه می‌شوند. لازم به ذکر است، موقعیت هر فرد می‌تواند به تدریج در طول فرآیند تکامل به راه حل بهینه جهانی همگرا شود که عمدتاً به دنبال دو موقعیت مهم بستگی دارد: ۱) یکی بهترین موقعیت شخصی هر فرد و ۲) دیگری بهترین موقعیت جهانی کل جمعیت. علاوه بر این، الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه ها[2](ACO) به عنوان یک تکنیک معروف مبتنی بر هوش جمعی تبدیل شده است [۹, ۱۰]. به طور خاص، در یک الگوریتم ACO، مسیر هر مورچه یک راه حل قابل اجرا را نشان می‌دهد و مسیر همه مورچه‌ها فضای حل را تشکیل می‌دهند. در این روش، انتخاب فرومون برای کلونی مورچه‌ها برای جستجوی مسیر بهینه جهانی در کل فضای مسئله اهمیت حیاتی دارد. در چنین حالتی کوتاهترین مسیر در جهت و محل سطح قویتر فرومون حاصل می‌شود.

تکنیک های جدید زیادی مبتنی بر SI با هدف دستیابی به بهینه‌سازی‌های بهتر با توانایی جستجوی خوب پیشنهاد شده‌اند که می‌توانند مسائل مختلف عملی را به طور مؤثر حل کنند، و عملکرد آنها با آزمایش‌های زیادی تأیید شده است. الگوریتم‌های جدید مبتنی بر SI عمدتاً رفتارهای اجتماعی موجودات زنده (به عنوان مثال، حشرات و پرندگان) را در طبیعت تقلید می‌کنند [۱۱]. به عنوان مثال، الگوریتم بهینه ساز گرگ خاکستری[3](GWO) در مرجع [۱۲] ارائه شده است که سلسله مراتب رهبری (شامل آلفا، بتا، دلتا و امگا) و رفتار شکار گرگ‌های خاکستری را شبیه سازی می‌کند. اخیراً، الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ[4](WOA) در مرجع [۱۳] ارائه شده است که از رفتار اجتماعی نهنگ‌های گوژپشت اقتباس شده است. همچنین یک تکنیک جدید مبتنی برSI ، به نام الگوریتم بهینه‌ساز هریس هاکس[5](HHO) ، در مرجع [۱۴] پیشنهاد شده است که رفتار شاهین‌های هریس را شبیه‌سازی می‌کند.

برخی از الگوریتم های مبتنی بر SI نقش حیاتی در بسیاری از کاربرد های عملی ایفا کرده‌اند. به عنوان مثال، الگوریتم ACO قابلیت جستجوی رضایت‌بخشی در برخورد با مسئله فروشنده دوره‌گرد دارد [۱۵, ۱۶]. همچنین در طول چند دهه گذشته، الگوریتم PSO به طور گسترده در حل مسائل بهینه سازی پیچیده مانند شبکه های پیچیده مقیاس بزرگ [۱۷]، سیستم‌های فازی[۱۸] ، سیستم‌های بهینه‌سازی چندوجهی پیچیده [۱۹] و سایر میدان‌ها [۸] پیاده‌سازی شده است. علاوه بر این، در چند سال گذشته، رویکردهای جدید تو سعه‌یافته مبتنی بر SI نیز با موفقیت در کاربردهای مختلف با هدف ارائه راه‌حل های مناسب‌تر برای مسائل مختلف بهینه‌سازی اعمال شده‌اند. به عنوان مثال، دو استراتژی جدید مانند یادگیری معکوس و اختلال پرواز لوی[6] یک الگوریتم بهبود یافته WOA به نام IWOA پیشنهاد شده است [۲۰]. در مرجع [۲۱]، یک الگوریتم ترکیبیHHO ، یعنی الگوریتم یادگیری جامع هریس هاکس-بهینه‌سازی تعادل[7](CLHHEO) ، با استفاده از استراتژی یادگیری جامع، اپراتور بهینه‌ساز تعادل و مکانیسم جایگزینی ترمینال طراحی شده است. این الگوریتم با موفقیت در بهینه‌سازی چندین مسئله مهندسی (به عنوان مثال، مدلسازی ضربه از سمت خودرو و طراحی ترمز کلاچ دیسکی چندگانه) استفاده می شود. الگوریتم پیاده‌روی تصادفی[8](RWSSA) در [۲۲] برای بهینه سازی توزیع و پوشش سیگنال شبکه‌های G5 در معادن روباز پیشنهاد شده است. به طور خلاصه، تکنیک‌های نوظهور مبتنی بر SI در برخورد با کاربردهای عملی مختلف توجه تحقیقاتی زیادی را به خود جلب کرده‌اند.

از سوی دیگر، هیچ الگوریتم واحدی یافت نمی‌شود که از عهده حل مناسب همه مسائل بهینه‌سازی برآید. به عبارت دیگر، عملکرد

[1] Swarm Intelligence
[2] Particle Swarm Optimization
[3] Ant Colony Optimization
[4] Grey Wolf Optimizer
[5] Whale Optimization Algorithm
[6] Harris Hawks Optimizer
[7] Levy light disturbance
[8] comprehensive learning Harris hawks-equilibrium optimization (CLHHEO) algorithm
[9] Random Walk Sparrow Search Algorithm

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.41.7.7]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.41.85]

بهینه‌سازی یک الگوریتم ممکن است در یک مجموعه از مسائل خوب و در مجموعه دیگر ضعیف عمل کند. برخی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی با این چالش مواجه‌اند، که در چاله مقادیر کمینه یا بیشینه محلی بیافتند و بهترین خروجی ممکن را نداشته باشند. از نظر حجم و هزینه محاسبات همه الگوریتم‌ها با هم برابر نیستند. برخی الگوریتم‌ها جهت مدیریت مسائل پیچیده بهینه سازی توسعه یافته‌اند. بنابراین هنگام حل مسائل ساده‌تر هزینه محاسباتی غیر ضروری را تحمیل می‌کند. از سوی دیگر، برخی الگوریتم جهت یافتن جواب سریع برای مسائل، قادر به یافتن جواب بهینه برای مسائل پیچیده و چند وجهی نیستند. بنابراین، استفاده همزمان از دو یا چند الگوریتم بهینه‌سازی برای حل یک مسئله حداقل این امکان را فراهم می‌کند، که ببینیم کدام الگوریتم با هزینه محاسباتی کمتر جواب‌های بهینه‌تری دارد.

توسعه الگوریتم‌های جدید بهینه سازی همواره مورد توجه محققین بوده است. با انگیزه مباحث فوق، یک تکنیک جدید مبتنی بر SI به نام بهینه ساز سوسک سرگین[1](DBO) با هدف ارائه یک بهینه ساز کارآمدتر برای حل مسائل بهینه‌سازی پیچیده اخیرا توسعه یافته است [۲۳]. این الگوریتم از رفتارهای غلتاندن سرگین، رقص، جستجو، دزدی و زادوولد سوسک سرگین غلتان الهام گرفته شده است. کارایی الگوریتم DBO از طریق توابع متنوع ریاضی ارزیابی شده است، نتایج تجربی نشان می‌دهد الگوریتم DBO عملکرد بهتری در مقایسه با الگوریتم‌های ماقبل خود دارد. این الگوریتم با موفقیت در چندین مسئله طراحی مهندسی عملی به کار گرفته شده است، که نشان دهنده توانایی امیدوارکننده آن در حل مسائل کاربردی است.

انتخاب بهینه ابعاد و مشخصات فنی یک کشتی از دغدغه‌های مهم مالکین و سفارش دهندگان، مهندسان طراحی و ساخت و بهره‌برداران است. با توجه به الزامات اخیر سازمان بین المللی دریانوردی در خصوص انطباق کشتی‌ها با الزامات کنوانسیون بین‌المللی جلوگیری از آلودگی ناشی از کشتی‌ها بخصوص روح حاکم بر مفاد ضمیمه ۶ این کنوانسیون که تاکید بر بهره‌وری بهینه سوخت مصرفی در کشتی‌ها دارد[۲۴]، مالکین و طراحان را بر آن داشته تا به جستجوی روش‌هایی جهت کاهش مصرف سوخت کشتی‌ها و همزمان افزایش ظرفیت بارگیری و یا افزایش بهره‌وری حمل و نقل دریایی باشند. بیشتر شرکت‌های کشتی سازی دنیا با بهره‌گیری از مشخصات کشتی‌های مشابه به فرم بدنه و ابعاد مورد نظر دست می‌یابند. در نتیجه اغلب کشتی‌ها با ابعاد و مشخصات یکسان طراحی و ساخته می‌شوند. در نتیجه پژوهش‌های محدودی در زمینه بهینه سازی ابعاد کشتی‌ها انجام شده است. کارچالیس و همکاران [۲۵] تعیین ابعاد اصلی یک کشتی کانتینری و تخمین ابعاد مورد نیاز آن را بررسی کردند. بدین منظور آنها از مشخصات کشتی‌های مشابه استفاده نمودند. طراحی مفهومی یک کشتی به منظور ابعاد و فرم بدنه بهینه در امواج توسط جونگ و همکاران انجام شد[۲۶]. ابعاد اصلی کشتی بعنوان متغیرهای مسئله و مقاومت کشتی در امواج بعنوان تابع هدف در نظر گرفته شد و بهینه‌سازی با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک چند هدفه انجام شده است. ژیانپینگ و همکاران با استفاده از روش تئوری تصمیم‌گیری فازی، ابعاد اصلی یک کشتی کانتینری را با هدف کاهش توان مصرفی آن بهینه‌سازی کردند [۲۷]. سیف و کاظمی‌پور کاهش مصرف سوخت شناور تجاری با بهینه سازی تریم را مدنظر قرار دادند[۲۸]. بهینه‌سازی چند هدفه هیدرودینامیکی فرم بدنه شناور تندرو پروازی به کمک الگوریتم ژنتیک در آب آرام توسط مهریزی و همکاران مورد بررسی قرار گرفت [۲۹].

ابراهیمی [۳۰] در سال ۱۴۰۲، ابعاد اصلی یک کشتی کانتینری را به کمک الگوریتم ژنتیک در جهت کاهش مقاومت هیدرودینامیکی کشتی و کاهش وزن سازه‌ای بهینه‌سازی نمود. بهینه‌سازی با استفاده از ماژول بهینه سازی الگوریتم ژنتیک و نرم‌افزار متلب انجام شده است. سپس جهت بررسی صحت نتایج روش استفاده شده، مسئله با استفاده از یک کد متلب به روش دیگری حل شد و جواب‌ها با هم مقایسه شدند.

در پژوهش حاضر با معرفی کلیات الگوریتم DBO و منشاء الهام آن، به طور ویژه به نحوه اعمال قیود اضافه به این الگوریتم برای حل مسئله بهینه‌سازی توجه می‌شود. برای این منظور، ابعاد اصلی کشتی‌های کانتینری بر حسب ظرفیت بارگیری و سرعت آنها با هدف حداقل مقاومت هیدرودینامیکی به همراه قیدهای متعددی از قبیل محدوده مجاز ابعاد اصلی، تعادل هیدرواستاتیکی و حجم زیرآبی مشخص، بهینه‌سازی می‌شود.

۲- معرفی الگوریتم بهینه‌ساز سوسک سرگین غلتان

۲-۱ کلیات

گونه‌های مختلفی از سوسک‌های سرگین غلتان در سراسر جهان وجود دارد. این حشرات در طبیعت از سرگین حیوانات تغذیه می‌کنند و با تجزیه مدفوع حیوانات نقش حیاتی در اکوسیستم دارند. این سوسک‌ها، سرگین را به شکل گلوله توپی در می‌آورند و سپس آن را بطرز ماهرانه‌ای می‌غلتانند (شکل ۱). هدف سوسک این است که گوی سرگین را به سرعت و به طرز ماهرانه‌ای حرکت دهد و از تصاحب آن توسط سایر سوسک‌ها جلوگیری کند. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود، یک سوسک سرگین به صورت عقب رو، در حال غلتاندن گوی سرگینی است که از خودش بزرگتر است. این سوسک‌ها برای طی مسیر، از نشانه‌های آسمانی (به‌ویژه

[1] Dung Beetle Optimizer

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.41.7.7]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.41.85]

خور شید و ماه) برای حرکت و چرخش توپ سرگین در امتداد یک خط مستقیم استفاده می‌کنند [۳۱, ۳۲]. با این حال، اگر اصلاً منبع نوری وجود نداشته باشد (یعنی در تاریکی مطلق)، مسیر سو سک سرگین دیگر م ستقیم نی ست، بلکه منحنی و گاهی حتی ممکن ا ست در مسیر دایره‌ای شکل با شد [۳۳]. برخی از عوارض و عوا مل طبیعی مانند باد و زمین ناهموار می‌تواند با عث انحراف سوسک‌های سرگین از جهت اصلی خود شوند. علاوه بر این، در طی م سیر، سو سک سرگین به احتمال زیاد با موانعی روبرو می شود و نمی‌تواند به جلو حرکت کند. برای حل چالش، سوسک از گوی سرگین بالا رفته و با انجام یک سری حرکات چرخشی و مکث‌هایی که ما به آن رقصیدن[1] می‌گوییم جهت حرکت جدید را تعیین می‌کند [۳۴]. سوسک‌های سرگین از جمع‌آوری و انبار این گلوله‌ها دو هدف اصلی را دنبال می‌کنند: ۱) از برخی گلوله‌های سرگین برای تخم‌گذاری و پرورش نسل بعدی استفاده می‌شود و ۲) بقیه به عنوان غذا استفاده می‌شود. به طور خاص، سوسک‌های سرگین گلوله‌های سرگین را دفن می‌کنند و ماده‌ها تخم‌های خود را در این گلوله می‌کارند. لازم به ذکر ا ست که گوی سرگین نه تنها به عنوان محل ر شد لارو عمل می‌کند، بلکه غذای لازم برای زندگی را نیز در اختیار لاروها قرار می‌دهد. بنابراین، گلوله‌های سرگین نقشی بی بدیلی در بقای این سوسک‌ها دارند. الگوریتم جدید بهینه‌سازی DBO، عمدتاً از رفتارهای غلتاندن[2]، رقصیدن[3]، جستجوی غذا[4]، دزدی[5] و تولید مثل سو سک‌های سرگین الهام گرفته شده ا ست. در ادامه رفتار سوسک سرگین با امید به توسعه یک الگوریتم بهینه‌سازی با عملکرد رضایت بخش به صورت ریاضی مدل می‌شود.



شکل ۱ : غلتاندن گلوله سرگین توسط سوسک سرگین غلتان.

۲-۲ ساختار الگوریتم

با توجه به بحث بالا، می‌دانیم سوسک‌های سرگین در فرآیند غلتاندن سرگین در مسیر مستقیم از نشانه‌های آسمانی بهره می‌برند (شکل ۲). شدت منبع نور نیز بر مسیر سوسک تأثیر می‌گذارد. در طی غلتاندن گوی سرگین، به‌روزرسانی موقعیت سوسک می‌تواند توسط تابع زیر بیان شود:

$$x_i(t+1) = x_i(t) + \alpha \times k \times x_i(t-1) + b \times \Delta x. \quad (۱)$$
$$\Delta x = |x_i(t) - X^w|$$

که در آن t نشان دهنده شماره تکرار فعلی است. $x_i(t)$ نشان دهنده اطلاعات موقعیت مکانی سرگین i در تکرار t است. $K \in [0.0.2]$ مقدار ثابتی است که نشان دهنده ضریب انحراف است. b مقدار ثابتی متعلق به (0.1) ، α یک ضریب طبیعی است که به آن مقادیر 1- و 1 اختصاص داده می‌شود، X^w نشان دهنده بدترین موقعیت جهانی است، Δx برای شبیه‌سازی شدت نور استفاده می‌شود.

نکته ۱: در معادله (۱)، انتخاب مقادیر مناسب دو پارامتر k و b حیاتی است. α به معنی این است که بسیاری از عوامل طبیعی (مانند باد و زمین ناهموار) می‌توانند سوسک‌های سرگین را از مسیر اصلی خود منحرف کند. به طور خاص، $\alpha = 1$ نشان دهنده عدم انحراف، و $\alpha = -1$ نشان دهنده انحراف از جهت اصلی است. در الگوریتم DBO برای شبیه‌سازی محیط پیچیده در دنیای واقعی، به صورت تصادفی به α مقادیر 1 و 1- اختصاص داده می‌شود. به همین صورت، مقدار بالاتر Δx نشان دهنده منبع نور ضعیف‌تر است. همچنین، برای k و b به ترتیب 0.1 و 0.3 در نظر گرفته می‌شود. Δx می‌تواند سوسک سرگین غلتان را ارتقا دهد تا دو مزیت زیر را برآورده نماید: ۱) کل فضای مسئله را تا حد امکان به طور کامل در طول فرآیند بهینه‌سازی بررسی کنید. و ۲) عملکرد جستجوی قوی‌تری را دنبال کند و احتمال سقوط در مقادیر بهینه محلی را کاهش دهد. از این رو، X^w برای کنترل مقدار Δx برای گسترش دامنه جستجو ضروری است.



شکل ۲ : مدل مفهومی مسیر حرکت سوسک سرگین.

هنگامی که سوسک سرگین با مانعی روبرو می‌شود و نمی‌تواند به جلو حرکت کند، با بالا رفتن از سرگین و چرخیدن روی آن که ما به آن رقصیدن می‌گوییم برای یافتن یک مسیر جدید، جهت‌گیری خود را تغییر می‌دهد. رفتار رقص نقش مهمی در سوسک‌های سرگین دارد. به منظور تقلید از رفتار رقص، از تابع تانژانت برای بدست آوردن جهت چرخش جدید استفاده می‌شود. لازم به ذکر است، فقط باید مقادیر تابع مماس مشخص شده بر روی بازه $[0.\pi]$ در نظر گرفته

[1] dance
[1] rolling
[1] dancing

[1] foraging
[1] stealing

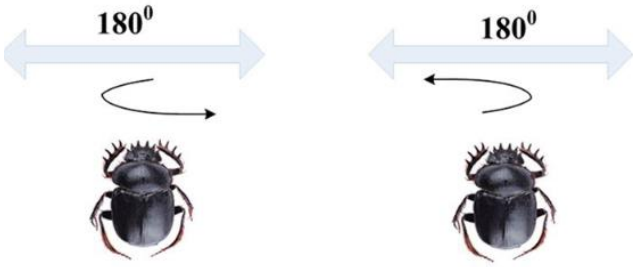
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.41.7.7]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.41.85]

شود (شکل ۳). هنگامی که سوسک سرگین با موفقیت یک جهت جدید را تعیین کرد، باید به غلتاندن سرگین ادامه دهد. بنابراین، موقعیت سوسک به شرح زیر به روزرسانی می‌شود:

$$x_i(t+1) = x_i(t) + \tan(\theta)\,|x_i(t) - x_i(t-1)| \quad (۲)$$

که در آن θ زاویه انحراف متعلق به بازه $[0.\pi]$ است.

نکته ۲ : در معادله (۲)، $|x_i(t) - x_i(t-1)|$ اختلاف بین موقعیت سوسک i^{th} در تکرار t و موقعیت آن در تکرار $t-1$است. بنابراین، به‌روزرسانی موقعیت سوسک سرگین غلتان ارتباط نزدیکی با اطلاعات فعلی و اطلاعات گذشته آن دارد. توجه شود اگر θ برابر با 0، $\frac{\pi}{2}$ و یا π باشد، موقعیت سوسک به روز نمی‌شود.



شکل ۳ : مدل مفهومی تابع مماس و رفتار رقص یک سوسک سرگین [۲۳].

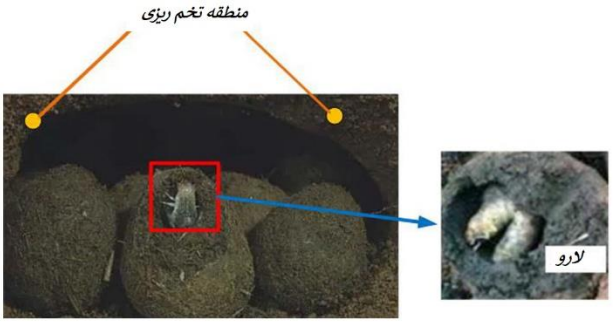
در طبیعت، گلوله‌های سرگین به طور ایمن غلتانده می‌شوند و توسط سوسک‌های سرگین پنهان می‌گردند (شکل ۴ ملاحظه شود). به منظور فراهم کردن محیطی امن برای نوزادانشان، انتخاب محل مناسب برای تخم‌گذاری برای سوسک‌های سرگین بسیار مهم است. با الهام از بحث فوق، یک استراتژی انتخاب مرز برای شبیه‌سازی مناطقی که سوسک‌های ماده تخم می‌گذارند، پیشنهاد شده است و با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$Lb^* = \max(X^* \times (1-R).Lb). \quad (۳)$$
$$Ub^* = \min(X^* \times (1+R).Ub)$$

که در آن X^* نشان دهنده بهترین موقعیت محلی فعلی است، Lb^* و Ub^* به ترتیب به معنای مرزهای پایین و بالایی منطقه تخم‌ریزی است. $R = 1 - t/T_{max}$ و T_{max} نشان دهنده حداکثر تعداد تکرار است. Lb و Ub نشان دهنده مرزهای پایین و بالایی مسئله بهینه‌سازی هستند. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، بهترین موقعیت محلی فعلی X^* با یک دایره قهوه‌ای رنگ بزرگ نشان داده شده است، و دایره‌های سیاه کوچک اطراف X^* گلوله‌های حاوی نوزاد را نشان می‌دهند. توجه شود هر گلوله مولد، حاوی یک تخم سوسک سرگین است (شکل ۴ ملاحظه شود). علاوه بر این، دایره‌های قرمز کوچک نشان دهنده مرزهای بالایی و پایینی هستند. پس از شناسایی منطقه تخم‌ریزی، سوسک‌های سرگین ماده این ناحیه را برای تخم‌گذاری انتخاب می‌کنند. لازم به ذکر است در الگوریتم DBO، هر سوسک سرگین ماده در هر تکرار تنها یک تخم تولید می‌کند. علاوه بر این، از معادله (۳) مشاهده می‌شود که محدوده مرزی منطقه تخم‌ریزی به صورت دینامیکی تغییر می‌کند، که عمدتاً با مقدار R تعیین می‌شود. بنابراین، موقعیت گلوله‌های مولد نیز در فرآیند تکرار پویا است که توسط رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$B_i(t+1) = X^* + b_1 \times (B_i(t) - Lb^*) + b_2 \times (B_i(t) - Ub^*) \quad (۴)$$

که در آن $B_i(t)$ اطلاعات موقعیت گلوله i^{th} در تکرار t است، b_1 و b_2 دو بردار تصادفی مستقل با اندازه $1 \times D$ است. که، D ابعاد مسئله بهینه‌سازی است. شایان ذکر است، موقعیت گلوله مولد به فضای خاصی محدود است، یعنی منطقه تخم‌ریزی.



شکل ۴ : منطقه تخم‌ریزی سوسک‌های سرگین[۲۳].

برخی از نوزادها که بالغ‌تر شده‌اند، از زمین بیرون می‌آیند و به دنبال غذا می‌گردند (شکل ۶ را ببینید). در این الگوریتم به آنها سوسک‌های بچه می‌گوییم. علاوه بر این، باید منطقه جستجوی بهینه برای هدایت سوسک‌های بچه ایجاد شود تا شبیه‌سازی در آن محدوده انجام شود. مرز منطقه بهینه جستجوی غذا به صورت زیر تعریف می‌شود:

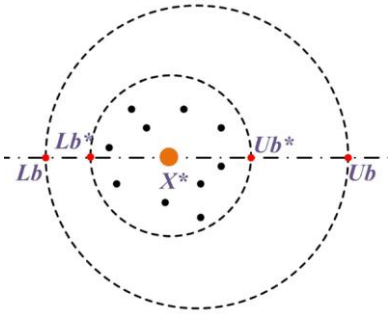
$$Lb^b = \max(X^b \times (1-R).Lb) \quad (۵)$$
$$Ub^b = \min(X^b \times (1+R).Ub)$$

در این معادله X^b بهترین موقعیت جهانی را نشان می‌دهد، Lb^b و Ub^b به ترتیب به معنای مرزهای پایین و بالایی منطقه جستجوی بهینه هستند، سایر پارامترها در معادله (۳) تعریف شده‌اند. بنابراین، موقعیت سوسک سرگین بچه به شرح زیر به روز می‌شود:

$$x_i(t+1) = x_i(t) + C_1 \times (x_i(t) - Lb^b) + C_2 \times (x_i(t) - Ub^b) \quad (۶)$$

در این معادله $x_i(t)$ اطلاعات موقعیت i^{th} سوسک سرگین بچه را در تکرار t نشان می‌دهد. C_1 یک عدد تصادفی با توزیع نرمال است، و C_2 بیانگر یک بردار تصادفی متعلق به (0.1) است.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.41.7.7]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.41.85]



شکل ۵ : مدل مفهومی استراتژی انتخاب مرز.



شکل ۶ : فرآیند جستجوی غذا توسط سوسک‌های بچه[۲۳].

از سوی دیگر، برخی از سوسک‌های سرگین که به عنوان سارق شناخته می‌شوند، توپ‌های سرگین را از سایر سوسک‌ها می‌دزدند (شکل ۷ را ببینید). این پدیده در طبیعت بسیار رایج است. از معادله (۵) می‌توان دریافت که X^b منبع غذایی بهینه است. بنابراین، می‌توانیم فرض کرد اطراف X^b بهترین مکان برای رقابت بر سر غذا است. در طی فرآیند تکرار، اطلاعات موقعیت سارق به روز می‌شود و می‌توان آن را به شرح زیر توصیف کرد:

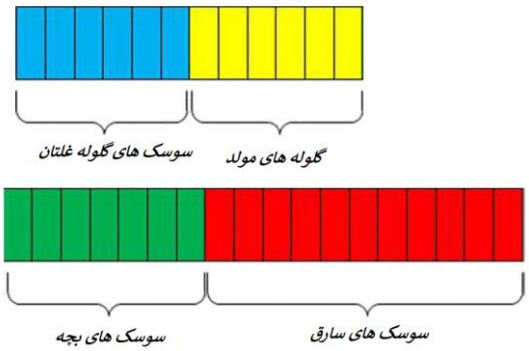
$$x_i(t+1) = X^b + S \times g \times (|x_i(t) - X^*| + |x_i(t) - X^b|) \quad (۷)$$

که در آن $x_i(t)$ نشان‌دهنده اطلاعات موقعیت سارق i^{th} در تکرار t است، و g یک بردار تصادفی با اندازه $1 \times D$ با توزیع نرمال است و S یک مقدار ثابت است.



شکل ۷ : رفتار دزدی سوسک‌های سرگین.

بر اساس بحث‌های فوق، شبه کد DBO در الگوریتم ۱ نشان داده شده است (همچنین مرجع [۲۳] ملاحظه شود). در این الگوریتم، T_{max} تعداد حداکثر تکرار، و N اندازه جمعیت است. برای شروع، تمام عوامل الگوریتم DBO به طور تصادفی مقداردهی اولیه می‌شوند که تنظیمات توزیع آنها در شکل ۸ نشان داده شده است. در این شکل، تعداد مستطیل‌های کوچک نشان دهنده اندازه جمعیت است. همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است، اندازه جمعیت ۳۰ در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است که مستطیل‌های آبی، زرد، سبز و قرمز نشان دهنده سوسک‌های گلوله غلتان، گلوله‌های نوزاد، سوسک‌های بچه و سوسک‌های سارق است. موقعیت هر دسته از سوسک‌ها به طور مداوم در طول فرآیند بهینه‌سازی به روز می‌شوند. در نهایت بهترین موقعیت X^b و مقدار متناسب آن استخراج می‌شود. به طور خلاصه، برای هر مسئله بهینه‌سازی، الگوریتم DBO، به عنوان یک تکنیک جدید بهینه‌سازی مبتنی بر SI، عمدتاً دارای شش مرحله است که می‌توان آن‌ها را به شرح زیر بیان کرد: ۱) مقداردهی اولیه ازدحام سوسک‌های سرگین و پارامترهای الگوریتم DBO، ۲) مقادیر متناسب با همه نمایندگان با توجه به تابع هدف محاسبه می‌شوند، ۳) مکان تمام سوسک‌ها به روزرسانی می‌شود، ۴) بررسی می‌شود که آیا سوسکی خارج از محدوده مسئله است (بررسی قیود مسئله)، ۵) راه حل بهینه فعلی و ارزش تناسب آن تجدید می‌شود و ۶) مراحل فوق تکرار می‌شود تا زمانی که تعداد تکرارها تمام شود و راه حل بهینه جهانی و ارزش متناسب با آن بدست می‌آید.



شکل ۸ : توزیع نماینده‌های جستجو در الگوریتم DBO

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.41.7.7]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.41.85]

نکته ۳ طبق الگوریتم DBO، هر دسته از سوسک‌های سرگین از چهار دسته نماینده مجزا تشکیل شده است. یعنی: سوسک گلوله‌غلتان، گلوله‌های نوزاد، سوسک سرگین کوچک و سوسک‌های سارق. بنابراین، در الگوریتم DBO، یک جمعیت سوسک سرگین شامل N نماینده است، که در آن هر نماینده یک راه حل بالقوه است. بردار موقعیت نماینده i در تکرار t با $x_i(t) =$ $\left(x_{i1}(t).x_{i2}(t).\dots.x_{iD}(t)\right)$ نشان داده می‌شود، که در آن D بعد فضای جستجو است. نسبت توزیع آنها را می‌توان با توجه به شرایط واقعی مسئله تنظیم کرد. به عنوان مثال، در شکل ۸ اندازه جمعیت سوسک‌های سرگین $N = 30$ است. تعداد سوسک‌های سرگین گلوله غلتان، گلوله مولد، سوسک بچه و سوسک سارق به ترتیب ۶، ۶، ۷ و ۱۱ است که مجموع تعداد آنها برابر با کل جمعیت یعنی ۳۰ است.

با توجه به مباحث فوق شبه کد DBO در پیوست ۱ نشان داده شده است. در این شبه کد، خطهای شماره ۱۹و ۲۰، ۳۳ و ۳۴، ۳۸ و ۳۹، ۴۳ و ۴۴ برای کنترل قیود مسئله در نظر گرفته شده‌اند. این قیود شامل حد بالا و پایین مسئله[6]و قیود اضافی[7]مسئله است.

در بخش بعدی به حل مسئله بهینه‌سازی مقاومت هیدرودینامیکی کشتی کانتینری به کمک الگوریتم DBO می‌پردازیم.

۳- حل مسئله بهینه‌سازی ابعاد کشتی کانتینری

برای حل مسئله بهینه‌سازی، ابتدا باید برخی از پارمترهای اولیه تعیین شوند. یکی از اطلاعات مهم برای شروع طراحی و ساخت کشتی کانتینری، ظرفیت حمل بار کشتی است که بر حسب TEU بیان می‌شود. در این پژوهش، هدف تعیین ابعاد بهینه کشتی کانتینری با ظرفیت تعداد کانتینر معلوم با هدف کمترین مقاومت هیدرودینامیکی است. سرعت طراحی شناور در محدوده سرعت مرسوم کشتی‌های کانتینری برابر با ۲۲ نات معادل ۴۰ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته می‌شود [۳۵].

۳-۱ انتخاب پارامترهای اولیه

۳-۱-۱ ضرایب فرم بدنه

ضرایب شکل بدنه کشتی، ضرایب بی بعدی هستند که برای درک بهتر شکل کلی بدنه کشتی استفاده می‌شوند. یکی از مهمترین این ضرایب، ضریب بلوکی C_B یا ضریب چاقی بدنه است که از تقسیم حجم مغروق کشتی به حجم مکعب مستطیل احاطه کننده آن بدست می‌آید. با توجه به اطلاعات کشتی‌های مشابه، این ضریب برای کشتی‌های کانتینری مرسوم بین ۰/۶۶ تا ۰/۷۲ است [۳۶]. در این پژوهش، میانگین این دو مقدار یعنی ۰/۶۹ در نظر گرفته می‌شود.

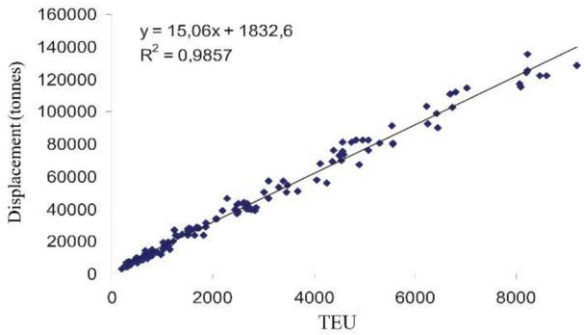
یکی دیگر از ظرایب بی بعد، ضریب صفحه آبخور C_{WP} است که طبق توصیه اشینکلوث [۳۷] از رابط زیر قابل مقایسه است.

$$C_{WP} = \frac{(1 + 2C_B)}{3} \qquad (۸)$$

بنابراین با فرض ضریب بلوکی ۰/۶۹، ضریب صفحه آبخور۰/۷۹ بدست می‌آید.

۳-۱-۲ تخمین حجم جابجایی کشتی

یکی دیگر از اطلاعات مهم در فرایند طراحی کشتی، وزن کل کشتی یا جابجایی است؛ که شامل وزن بار قابل حمل کشتی، وزن بدنه، ماشین‌آلات و غیره است. محاسبه وزن کل کشتی بصورت دقیق نیازمند محاسبات پیچیده‌ای است که در مراحل اولیه طراحی از این کار اجتناب می‌شود. وزن کل کشتی را در این مرحله می‌توان تخمین زد و سپس در مراحل نهایی طراحی، وزن دقیق را بدست آورد. در این پژوهش، وزن کل کشتی با استفاده از آمار کشتی‌های مشابه برآورد می‌شود. برای این منظور از اطلاعات آماری نشان داده شده در شکل ۸ که از مرجع [۳۸] بدست آمده است، استفاده می‌شود.



شکل ۹ : نمودار ظرفیت حمل کانتینر بر حسب وزن جابجایی کشتی[۳۸].

با توجه به نمودار فوق، در صورتی که رابطه ظرفیت بارگیری کشتی و وزن جابجایی آن خطی در نظر گرفته شود، داریم:

$$\Delta = 15.06\ TEU + 1832.6\ \text{ton} \qquad (۹)$$

با فرض چگالی آب دریا برابر با $1.025\ \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$ و اعمال ضریب بلوکی $C_B = 0.69$ حاصلضرب ابعاد کشتی بر حسب ظرفیت بارگیری کانتینر بصورت ذیل بیان می‌شود:

$$L \times B \times T \approx 21.294\ \text{TEU} + 2591.2\ \text{m}^3 \qquad (۱۰)$$

در این رابطه و کلیه روابط هولتروپ که در ادامه بیان خواهند شد، منظور از L، طول خیس شناور است.

رابطه فوق یکی از قیود مهم بهینه‌سازی در این مسئله است. با توجه به اینکه در محاسبات از وزن تخمینی استفاده شده است، این مقدار با تلرانس ±۲ درصد، بصورت قید نامساوی اعمال خواهد شد.

[1] Upper bounds and Lower bounds

[1] Constraints

[7]

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.41.7.7]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.41.85]

۳-۱-۳ پایداری استاتیکی کشتی

نکته مهمی که در طراحی یک کشتی باید مورد نظر قرار گیرد، پایداری استاتیکی کشتی است. در طراحی کشتی‌ها، پایداری عرضی اهمیت بیشتری دارد. GM ارتفاع متاسنتر کشتی است و مهمترین پارامتر در بررسی پایداری عرضی آن است. معیارهای عمومی تعادل و پایداری شناورها بر اساس الزامات سازمان بین‌المللی دریانوردی[۳۹] در جدول ۱ شرح داده شده است. این مقادیر به عنوان قیود بهینه‌سازی به مساله اضافه خواهند شد.

جدول ۱: معیارهای عمومی تعادل و پایداری شناورها [۳۹]

معیار	مقدار
ارتفاع متاسنتر	$GM \geq 0.15$ m
مساحت زیر نمودار بازوی برگرداننده	$GZ_{0°-30°} > 0.055$ m − rad $GZ_{0°-40°} > 0.09$ m − rad $GZ_{30°-40°} > 0.03$ m − rad
زاویه حداکثر بازوی برگرداننده	$\theta_{GZ_{max}} > 25°$
مقدار بازوی برگرداننده در زاویه کجی ۳۰ درجه	$GZ_{30°} > 0.20$ m
زاویه ایجاد شده ناشی از باد ناگهانی	φ_0 <16° and 80% of the angle of deck edge immersion, whichever is less
همچنین،	Area $d >$ Area c^*

*برای شرح Area $\boldsymbol{d}$ و Area $\boldsymbol{c}$ به مرجع [۳۹] مراجعه شود.

GM از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$GM = KB + BM - KG \qquad (۱۱)$$

که در آن KB فاصله مرکز قائم بویانسی تا کیل، KG ارتفاع مرکز ثقل و BM شعاع متاسنتر کشتی است.

مقدار دقیق مرکز ثقل با ممان‌گیری از تمام المان‌های وزنی سازه کشتی و وزن بار آن محاسبه می‌شود. از سوی دیگر، BM با تقسیم ممان دوم صفحه آبخور کشتی بر حجم مغروق کشتی بدست می‌آید. در مراحل اولیه طراحی کشتی محاسبه دقیق مرکز ثقل امکان پذیر نیست. در این تحقیق برای محاسبه این پارامترها از روابط تجربی که از آنالیز آماری کشتی‌های مختلف استخراج شده [۳۷]، استفاده می‌کنیم:

$$KB = T\left(0.78 - \frac{0.285C_B}{C_{WP}}\right)$$
$$BM = \frac{0.096 + 0.89C_{WP}^2}{12} \cdot \frac{B^2}{TC_B} \qquad (۱۲)$$
$$KG = 0.01D\begin{bmatrix}46.6 + \\ 0.135(0.81 - C_B)(\mathrm{L/D})^2\end{bmatrix} + 0.008D\left(\frac{L}{B} - 6.5\right)$$

آنالیز داده‌های تعادل و پایداری شناورهای مختلف نشان دهنده رابطه بین مقدار GM و سایر معیارهای پایداری است [۴۰]. بر این اساس:

$$GZ_{30°} = 0.5261GM + 0.1145$$
$$\theta_{GZ_{max}} = 0.4775GM + 37.043$$
$$GZ_{0°-30°} = 0.1341GM + 0.0216$$
$$GZ_{0°-40°} = 0.2214GM + 0.047$$
$$GZ_{30°-40°} = 0.0873GM + 0.0253 \qquad (۱۳)$$
$$\text{Area } c = 0.0766GM$$
$$\text{Area } d = 0.307GM$$
$$\varphi_0 = \frac{1}{0.15689GM + 0.05209}$$

بررسی روابط فوق نشان می‌دهد، اگر $GM > 0.25$ باشد، معیارهای مورد نیاز پایداری مندرج در جدول ۱ به جز مقدار φ_0 که باید جداگانه بررسی شود برآورده می‌شوند. این معیار می‌بایست به صورت جداگانه به قیود مسئله اضافه شود.

۳-۱-۴ توابع هدف

هدف بهینه‌سازی، کمینه کردن مقاومت هیدرودینامیکی کشتی است. کاهش مقاومت هیدرودینامیکی باعث کاهش توان مورد نیاز شناور در نتیجه کاهش مصرف سوخت آن نیز می‌شود.

۳-۱-۵ مقاومت هیدرودینامیکی کشتی

مقاومت کل کشتی R_T بصورت زیر بیان می‌شود:

$$R_T = R_F(1+k) + R_W + R_A + R_{AA} + R_{App} + R_B \qquad (۱۴)$$

در رابطه فوق، R_F مقاومت اصطکاک پوسته‌ای بدنه کشتی، R_W مقاومت موج‌سازی، $1+k$ فاکتور فرم بدنه، R_A مقاومت همبستگی بین مدل و کشتی، R_{AA} مقاومت هوا، R_B مقاومت حبابی سینه در نزدیکی سطح آزاد و R_{App} مقاومت ملحقات است. برای کاهش پیچیدگی‌های غیرضروری از مقاومت ملحقات صرفنظر می‌شود. مقاومت اصطکاک پوسته‌ای با استفاده از رابطه ذیل محاسبه می‌شود:

$$R_F = 0.5\rho C_{F0} S_{wet} V^2 \qquad (۱۵)$$

در این رابطه ρ چگالی آب دریا، C_{F0} ضریب اصطکاک پوسته‌ای، S_{wet} سطح خیس کشتی، و V سرعت کشتی است. برای محاسبه

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.41.7.7]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.41.85]

C_{F0} می‌توان از فرمول ارائه شده توسط کنفرانس بین‌المللی حوضچه کشش [۴۱] استفاده کرد:

$$C_{F0} = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2} \qquad (۱۶)$$

در این رابطه R_n عدد رینولدز است.

فاکتور فرم را می‌توان بر حسب ابعاد و مشخصات بدنه کشتی به کمک روابط تجربی هولتروپ [۴۲, ۴۳] محاسبه کرد:

$$k = -0.07 + 0.487118\, c_{14} \begin{bmatrix} \left(\frac{B}{L}\right)^{1.06806} \left(\frac{T}{L}\right)^{0.46106} \times \\ \times \left(\frac{L}{L_R}\right)^{0.121563} \left(\frac{L^3}{\nabla}\right)^{0.36486} \\ \times (1 - C_P)^{-0.604247} \end{bmatrix} \qquad (۱۷)$$

c_{14} ضریب مربوط به فرم پاشنه است که برای کشتی‌های مرسوم مقدار آن برابر با 1.0 است. همچنین،

$$\frac{L}{L_R} = 1 - C_P + \frac{0.06 C_P l_{CB}}{4C_P - 1} \qquad (۱۸)$$

که در آن l_{CB} موقعیت مرکز بویانسی نسبت به وسط طول کشتی است و لازم است به صورت درصدی از طول شناور در نظر گرفته شود. برای محاسبه l_{CB} می‌توان از رابطه ذیل که توسط گالدهمر و هارولد [۴۴] ارائه شده است استفاده کرد:

$$l_{CB} = -(0.44\, Fn - 0.094) \qquad (۱۹)$$

که در آن Fn عدد فرود است که بر مبنای طول خط آبخور محاسبه می‌شود.

محاسبه سطح خیس شناور در مرحله اولیه طراحی به صورت دقیق امکان‌پذیر نیست. زیرا بدنه بیشتر کشتی‌ها دارای انحناهای پیچیده است که با روابط ریاضی قابل بیان نیستند. به همین دلیل در این پژوهش، برای محاسبه سطح خیس شناور از رابطه تجربی ذیل، ذکر شده در مرجع [۴۳]، استفاده می‌شود:

$$S_{wet} = L(2T + B)\sqrt{C_M}\left[0.615989\, c_{23} + 0.111439 C_M^3 + 0.000571111 + 0.245357 \frac{c_{23}}{C_M}\right] + 3.4559 A_T + \frac{A_{BT}}{C_B}\left(1.4660538 + \frac{0.5839497}{C_M}\right) \qquad (۲۰)$$

که در آن A_T مساحت سطح خیس پاشنه، C_M ضریب مقطع میانی و A_{BT} مساحت برش عرضی سطح خیس حبابی سینه است. همچنین،

$$c_{23} = \left[0.453 + 0.4425 C_B - 0.2862 C_M - 0.003467 \frac{B}{T} + 0.3696 C_{WP}\right] \qquad (۲۱)$$

امواج ایجاد شده اطراف بدنه شناور بخصوص در نواحی سینه و پاشنه در نتیجه توزیع فشار ناشی از حرکت کشتی است و برآیند نیروهای وارده بر سینه و پاشنه برابر با مقاومت موج سازی است. برای محاسبه این بخش از مقاومت نیز از روابط تجربی که توسط هولتروپ و منن [۴۲, ۴۳] پیشنهاد شده است، استفاده می‌کنیم:

$$R_W = c_1 c_2 c_5\, \rho g \nabla \exp\{m_1 Fn^{-0.9} + m_4 \cos(\lambda Fn^{-2})\} \qquad (۲۲)$$

در این رابطه:

$$c_1 = 2223105 c_7{}^{3.786} (T/B)^{1.0796} (90 - i_E)^{-1.376}$$

$$c_2 = \exp\left(-1.89\sqrt{c_3}\right)$$

$$c_3 = \frac{0.56 A_{BT}^{1.5}}{\left[0.31 BT\sqrt{A_{BT}} + T_F - h_B\right]}$$

$$i_E = 1 + 89 \exp\{-(L/B)^{0.80856}(1 - C_{WP})^{0.30484}(1 - C_P)^{0.6367}\left(\frac{L_R}{B}\right)^{0.34574}\left(\frac{100\nabla}{L^3}\right)^{0.16302}$$

$$c_5 = 1 - 0.8\frac{A_T}{BTC_M} \qquad (۲۳)$$

$$c_7 = \begin{cases} 0.229577\left(\frac{B}{L}\right)^{\left(\frac{1}{3}\right)} & B/L \le 0.11 \\ \frac{B}{L} & 0.11 < B/L \le 0.25 \\ 0.5 - 0.0625\frac{L}{B} & B/L > 0.25 \end{cases}$$

$$\lambda = \begin{cases} 1.446 C_P - 0.03\frac{L}{B} & \frac{L}{B} \le 12 \\ 1.446 C_P - 0.36 & \frac{L}{B} > 12 \end{cases}$$

سایر پارامترها به شرح زیر محاسبه می‌شوند:

$$m_1 = 0.014041\frac{L}{T} - \frac{1.75254\nabla^{\frac{1}{3}}}{L} - 4.79323\frac{B}{L} - c_{16}$$

$$c_{16} = \begin{cases} 8.0798 C_P - 13.867 C_P^2 + 6.98439 C_P^3 & C_P \le 0.8 \\ 1.73014 - 0.7067 C_P & C_P > 0.8 \end{cases}$$

$$m_4 = 0.4 c_{15} \exp\left(-\frac{0.034}{F_n^{-3.29}}\right) \qquad (۲۴)$$

$$c_{15} = \begin{cases} -1.69385 & \frac{L^3}{\nabla} < 512 \\ 0 & \frac{L^3}{\nabla} > 1727 \\ -1.69385 + \frac{\left(\frac{L}{\nabla^{\frac{1}{3}}} - 8\right)}{2.36} & 512 < \frac{L^3}{\nabla} < 1727 \end{cases}$$

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.41.7.7]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.41.85]

مقاومت همبستگی بین مدل و کشتی از رابطه ذیل محاسبه می‌شود:

$$R_A = \frac{1}{2}\rho V^2 C_A S_{wet} \qquad (۲۵)$$

که در آن،

$$C_A = 0.00546(L_{WL}+100)^{-0.16} - 0.002 + 0.003\sqrt{\frac{L_{WL}}{7.5}}C_B^4 c_2(0.04 - c_4) \qquad (۲۶)$$

$$c_4 = \begin{cases} \frac{T_F}{L} & if \frac{T_F}{L} \le 0.04 \\ 0.04 & if \frac{T_F}{L} > 0.04 \end{cases}$$

در این بخش، از مقاومت ملحقات به دلیل ناچیز بودن صرفنظر شده است. برای جزئیات به مرجع [۴۲] مراجعه شود.

مقاومت اضافه به دلیل حضور حبابی سینه در نزدیکی سطح آزاد از رابطه ذیل محاسبه می‌شود:

$$R_B = 0.11\rho g\left(\sqrt{A_{BT}}\right)^3 \frac{Fr_i^3}{1+Fr_i^2} e^{\left(-3.0P_B^{-2}\right)} \qquad (۲۷)$$

که در آن،

$$P_B = 0.56\frac{\sqrt{A_{BT}}}{T_F - 1.5h_B + h_F}$$

$$h_F = \max\left(C_P C_M \frac{BT}{L}(136 - 316.3Fb)Fb^3, -0.01L\right) \qquad (۲۸)$$

$$h_W = \min\left(\frac{i_E V^2}{400g}, 0.01L\right)$$

$$Fr_i = \frac{V}{\sqrt{g\left(T_F - h_B - 0.25\sqrt{A_{BT}} + h_F + h_W\right)}}$$

که در آن h_B ارتفاع مرکز سطح مقطع عرضی حبابی سینه تا خط مبنا است.

بخش مربوط به مقاومت هوا از رابطه ذیل محاسبه می‌شود:

$$R_{AA} = \frac{1}{2}\rho_A V^2 C_{DA} A_V \qquad (۲۹)$$

که در آن ρ_A چگالی هوا، $C_{DA} = 0.8$ ضریب پسای هوا و A_V سطح بادگیر بالای خط آبخور که از رابطه ذیل تخمین زده می‌شود:

$$A_V \approx 8(B-2) + B(D-T) \qquad (۳۰)$$

در این رابطه فرض شده است که شناور چهار طبقه روسازه دارد که هر کدام یک متر در عرض شناور تورفتگی دارند.

با توجه به مباحث مطرح شده در بخش قبل، تابع هدف را به صورت ذیل می‌توان خلاصه کرد:

$$\text{Minimize } R_t = f_1(L.B.T.D) \qquad (۳۱)$$

که قیود بهینه‌سازی مسئله در معادله (۱۰) و جدول ۱ بیان شده‌اند.

برای کنترل بیشتر بر روی ابعاد شناور، در شکل ۱۰ محدوده ابعادی کشتی‌های کانتینری بر حسب ظرفیت بارگیری رسم شده است. این نمودار از داده‌های آماری ذکر شده در مرجع [۴۵] استخراج شده است. محدوده ابعادی فوق نیز به عنوان قیود بهینه‌سازی در حل مسئله اعمال خواهد شد.

۴- صحت سنجی

در این بخش صحت پیاده‌سازی روش هولتروپ در نرم‌افزار محاسباتی بررسی می‌شود. برای این منظور یک کشتی کانتینری با ظرفیت 1000 TEU که مشخصات اصلی آن در جدول ۲ نشان داده شده است انتخاب شده است. در جدول ۳ نتایج محاسبات با نتایج محاسبه شده در مرجع [۴۲] مقایسه شده‌اند. نتایج نشان دهنده صحت پیاده‌سازی روابط هولتروپ در نرم‌افزار محاسباتی با دقت بالا است. همانطور که مشاهده می‌شود سهم مقاومت ملحقات در مقایسه با سایر بخش‌های دیگر مقاومت ناچیز است و در بهینه‌سازی از تاثیر آنها صرفنظر می‌شود. این ساده سازی، با فرض اینکه مشخصات ملحقات برای تمام حالات بهینه‌سازی یکسان است، تاثیر چندانی بر ابعاد شناور بهینه شده نخواهد داشت و صرفاً مقاومت بهینه شده را کمتر از مقدار انتظار محاسبه می‌کند.

جدول ۲: مشخصات یک کشتی کانتینری با ظرفیت 1000TEU

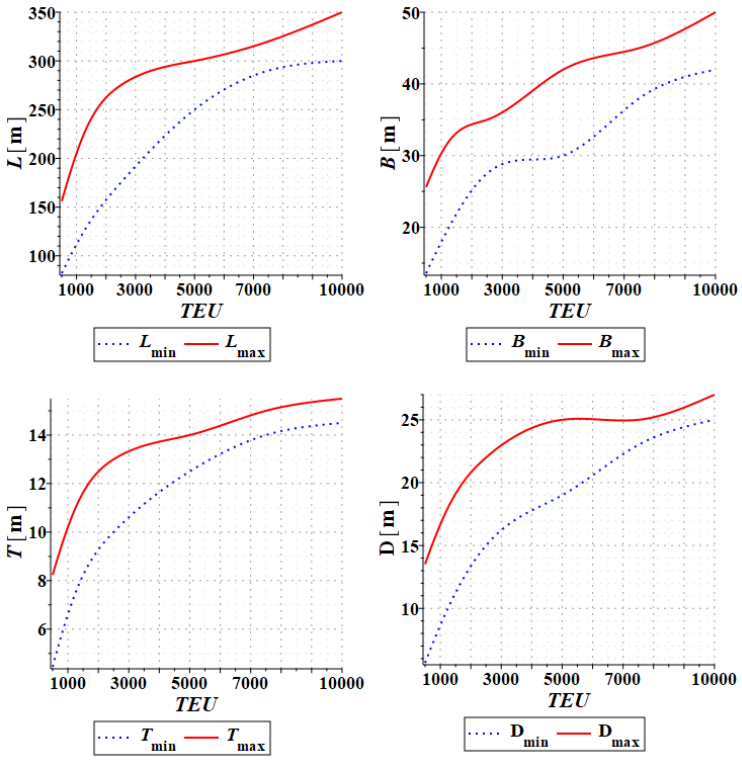
مشخصه	مقدار
طول بین دو عمود	$L_{bp} = 145.0$ m
میزان گسترش حبابی سینه جلوتر از عمود سینه	$L_{fore} = 3.30$ m
میزان گسترش طول خیس عقب‌تر از عمود پاشنه	$L_{aft} = 2.70$ m
طول خیس شناور	$L = 147.7$ m
ضریب لاغری بر اساس طول خیس	$C_B = 0.649$
عرض	$B = 24.0$ m
آبخور	$T = 8.2$ m
حجم جابجایی	$\nabla = 18872.0$ m^3
سطح خیس	$S_{wet} = 4400$ m^2
مساحت سطح مقطع حبابی سینه در محل عمود سینه	$A_{bt} = 14.0$ m^2
مساحت ملحقات	$S_{APP} = 52.0$ m^2
ضریب منظری (بر اساس L_{bp})	$C_p = 0.6783$
موقعیت مرکز بویانسی	$L_{CB0} = +0.4\% \, of \, L_{bp}$
سرعت طراحی	17.5 kn
شکل بدنه در عقب و جلو	استاندارد
سطح بادگیر بالای خط آبخور	$A_V = 383.76$ m^2
ضریب پسای هوا	$C_D = 0.80$

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.41.7.7]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.41.85]

چگالی هوا	$1.225\ \frac{kg}{m^3}$
دمای آب	$15\ ℃$
چگالی آب دریا	$\rho = 1026 \frac{Kg}{m^3}$
ویسکوزیته سینماتیکی آب دریا	$\vartheta = 1.189 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}$

۵- نتایج بهینه سازی

در شکل ۱۱ نمودار مقاومت هیدرودینامیکی بهینه شده بر حسب ظرفیت بارگیری شناور نشان داده شده است. برای صحت عملکرد الگوریتم DBO نتایج آن با نتایج تابع کتابخانه‌ای Optimization نرم‌افزار میپل2022 نیز مقایسه شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود نتایج دو روش همخوانی بسیار خوبی با هم دارند. بخشی از مقادیر عددی نتایج نیز در جدول ۴ نشان داده شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد، الگوریتم DBO مقدار مقاومت هیدرودینامیکی را کمی بهتر از میپل بهینه‌سازی کرده است. با این‌حال، مقدار تفاوت کمتر از ۰/۵٪ است. مقادیر عددی مقاومت هیدرودینامیکی توسط میپل در 1000 TEU و 5000 TEU به دلیل خطای ناشناخته در حین اجرای تابع Optimization این نرم‌افزار و عدم امکان دریافت خروجی نشان داده نشده‌اند.



شکل ۱۰ : محدوده ابعاد اصلی کشتی‌های کانتینری بر حسب ظرفیت بارگیری کانتینر (نمودارها بازرسم شده از مرجع [۴۵]).

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.41.7.7]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.41.85]

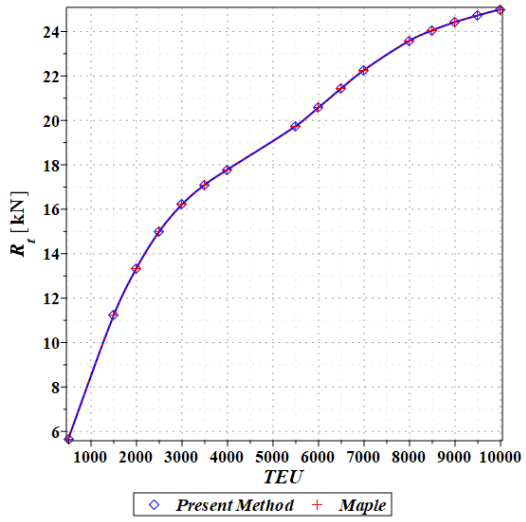
جدول ۳: مقایسه بخش‌های مختلف مقاومت هیدرودینامیکی محاسبه شده به روش هولتروپ

سرعت kn	R_f [kN]		R_A [kN]		R_W [kN]		R_B[kN]		R_{APP} [kN]		R_{AA} [kN]	
	مرجع [۴۲]	روش حاضر	مرجع [۴۲]	روش حاضر	مرجع [۴۲]	روش حاضر	مرجع [۴۲]	روش حاضر	مرجع [۴۲]	روش حاضر	مرجع [۴۲]	روش حاضر
15.00	206.82	206.81	58.31	58.31	34.6	34.60	32.56	32.59	3.42	3.42	11.2	11.20
15.50	219.94	219.93	62.27	62.27	44.93	44.94	33.87	33.90	3.64	3.65	11.96	11.95
16.00	233.44	233.45	66.35	66.35	57.61	57.61	35.15	35.15	3.86	3.85	12.74	12.75
16.50	247.31	247.30	70.56	70.56	72.88	72.87	36.39	36.42	4.09	4.08	13.55	13.56
17.00	261.56	261.55	74.9	74.90	90.61	90.60	37.61	37.61	4.33	4.34	14.38	14.38
17.50	276.18	276.18	79.37	79.38	110.48	110.48	38.79	38.77	4.57	4.58	15.24	15.23
18.00	291.18	291.18	83.97	83.97	132.61	132.60	39.93	39.96	4.82	4.82	16.12	16.13
18.50	306.55	306.56	88.7	88.71	158.08	158.07	41.05	41.08	5.07	5.07	17.03	17.04
19.00	322.29	322.30	93.56	93.56	188.8	188.81	42.13	42.16	5.33	5.33	17.97	17.98

جدول ۴: مقادیر عددی نتایج بهینه‌سازی

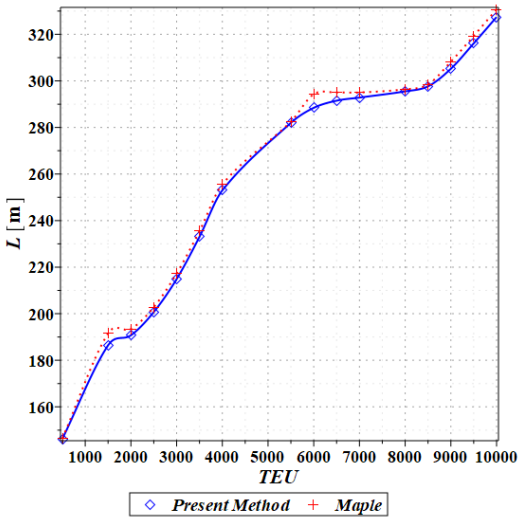
TEU	L_{BP}[m]		B[m]		T[m]		D[m]		R_t[KN]		
	DBO	میپل	DBO	میپل	DBO	میپل	DBO	میپل	DBO	میپل	تفاوت%
500	146.26	146.45	16.09	16.11	5.56	5.61	5.91	5.67	439.79	441.68	-0.43
1000	174.80	---	19.23	---	7.03	---	8.65	---	577.67	---	---
2000	190.72	193.47	25.21	25.15	9.29	9.28	16.65	13.35	840.50	834.81	0.68
3000	214.87	217.30	28.82	28.80	10.62	10.61	16.22	16.22	1003.31	1004.32	-0.10
4000	252.99	255.57	29.45	29.45	11.65	11.65	17.79	17.79	1107.00	1110.72	-0.34
5000	273.32	---	30.07	---	13.12	---	19.00	---	1219.17	---	---
6000	288.42	294.30	32.68	32.63	13.68	13.56	20.58	20.58	1339.65	1344.95	-0.40
7000	292.82	295.02	36.33	36.33	14.10	14.14	22.27	22.27	1461.51	1467.69	-0.42

در شکل ۱۲تا ۱۵ نمودار تغییرات ابعاد اصلی شناور بهینه شده بر حسب ظرفیت بارگیری آن نشان داده شده‌اند. مقادیر بدست آمده از تابع کتابخانه‌ای Optimization نرم‌افزار میپل نیز در نمودارهای مربوطه نشان داده شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود، هر دو روش مقدار مقاومت هیدرودینامیکی تقریباً یکسانی را محاسبه کرده‌اند، اما طول و آبخور شناور کمی با هم تفاوت دارند. برای مثال، طول، و آبخور شناور بهینه شده توسط نرم‌افزار میپل برای بارگیری 6000 TEU به ترتیب 294.3 m و 13.56 m است. در حالیکه ابعاد بهینه شده توسط الگوریتم DBO به ترتیب 288.42 m و 13.68 m است. این نکته از این جهت حائز اهمیت است، که شناور بهینه می‌تواند چندین شکل و شمایل متفاوت داشته باشد. بنابراین، بنا به نظر طراح و یا سایر نیازمندی‌های دیگر می‌توان ابعاد مناسب‌تر را انتخاب نمود.

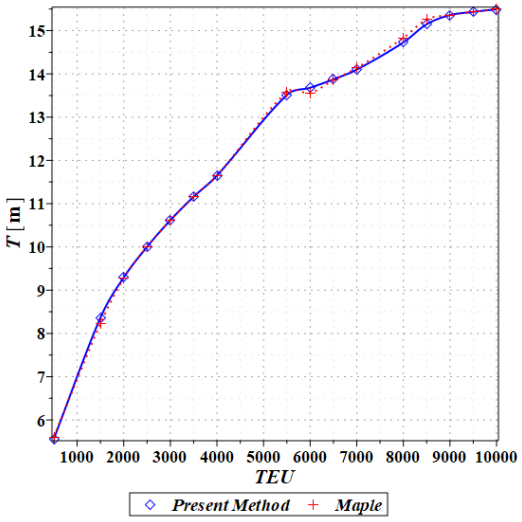


شکل ۱۱ : نمودار تغییرات مقاومت هیدرودینامیکی بهینه شده بر حسب ظرفیت بارگیری کانتینر.

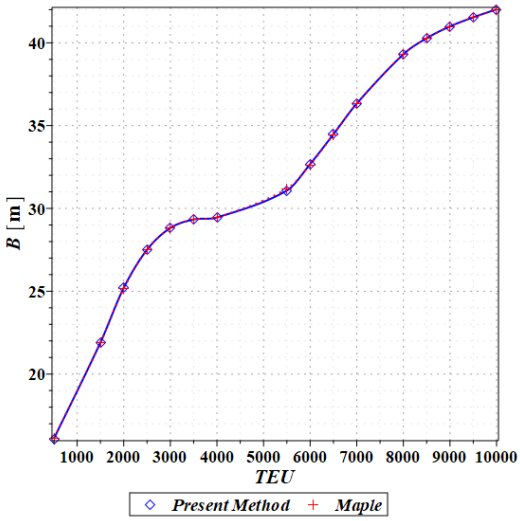
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.41.7.7]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.41.85]



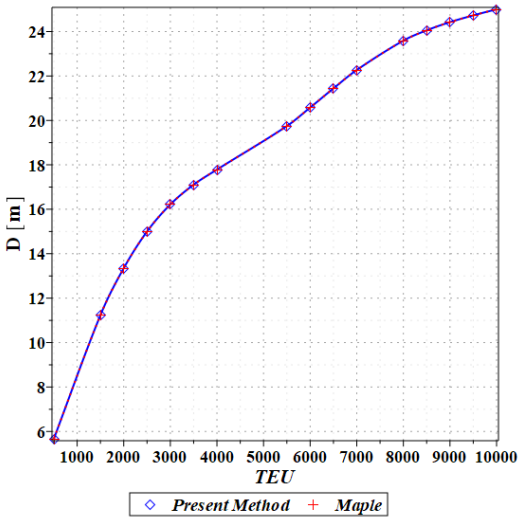
شکل ۱۲ : نمودار تغییرات طول شناور بهینه شده بر حسب ظرفیت بارگیری.



شکل ۱۴ : نمودار تغییرات آبخور شناور بهینه شده بر حسب ظرفیت بارگیری کانتینر.



شکل ۱۳ : نمودار تغییرات عرض شناور بهینه شده بر حسب ظرفیت بارگیری.

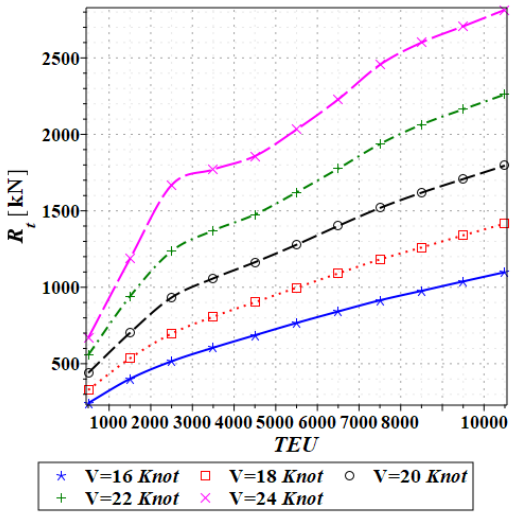


شکل ۱۵ : نمودار تغییرات عمق شناور بهینه شده بر حسب ظرفیت بارگیری کانتینر.

در شکل‌های ۱۶ تا ۱۹ مقاومت هیدرودینامیکی بهینه شده، همچنین ابعاد بهینه شده در سرعت‌های مختلف بر حسب ظرفیت بارگیری شناور نشان داده شده‌اند. شکل ۱۶ مقاومت هیدرودینامیکی بهینه شده را بر حسب ظرفیت بارگیری کانتینر در سرعت‌های مختلف طراحی نشان می‌دهد. همانطور که انتظار می‌رود، با افزایش سرعت و ظرفیت بارگیری، مقاومت هیدرودینامیکی شناور نیز افزایش می‌یابد. اگر تغییرات مقاومت هیدوردینامیکی بر حسب ظرفیت بارگیری را تقریباً خطی فرض کنیم در سرعت‌های پایین شیب خط کم است، اما با افزایش سرعت شناور، شیب نمودار مربوطه نیز افزایش می‌یابد. از آنجا که رابطه بین توان مصرفی، سرعت و نیروی مقاومت به صورت $P = RV$ است، افزایش همزمان ظرفیت بارگیری و سرعت شناور، باعث نیاز

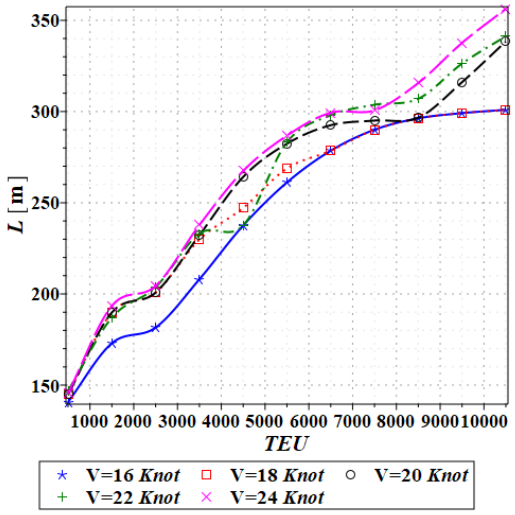
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.41.7.7]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.41.85]

دوچندان شناور به توان بیشتر و سوخت مصرفی بیشتر می‌شود. بنابراین، هم از دیدگاه اقتصادی و هم از دیدگاه شاخص طراحی بازه انرژی[8]که سازمان بین المللی دریانوردی IMO بر آن تاکید دارد [۲۴]، کاهش سرعت شناور در محدوده منطقی اهمیت زیادی دارد.

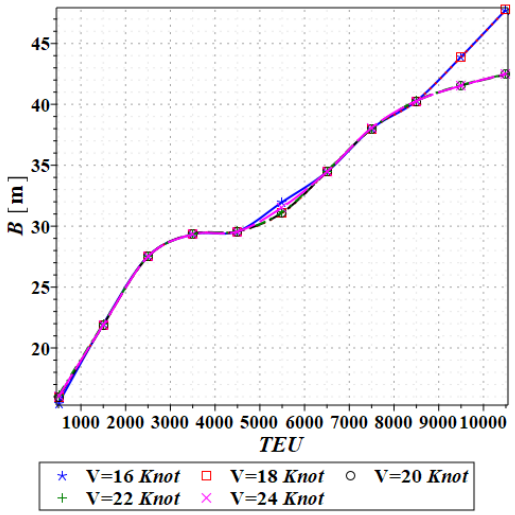


شکل ۱۶ : نمودار تغییرات مقاومت هیدرودینامیکی بهینه شده بر حسب ظرفیت بارگیری کانتینر، در سرعت‌های مختلف شناور.

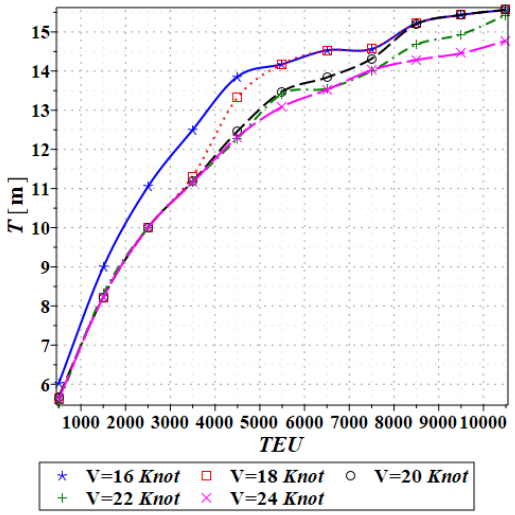
در شکل‌های ۱۷ تا ۱۹ ابعاد بهینه شده شناور در سرعت‌های مختلف بر حسب ظرفیت بارگیری نشان داده شده است. عرض شناور یکی از مهمترین عوامل موثر در مقاومت هیدرودینامیکی است. بطور کلی برای دو شناور با حجم جابجایی یکسان شناور کشیده‌تر مقاومت هیدرودینامیکی کمتری دارد. اما نتایج شکل ۱۸ نشان دهنده این است که برای تمام سرعت‌های بررسی شده عرض شناور تقریباً یکسان است. در واقع باید گفت، در تمام سرعت‌ها الگوریتم بهینه‌سازی کمترین عرض مجاز را برای شناور انتخاب کرده است تا مقاومت هیدوردینامیکی به حداقل برسد (شکل‌های ۱۸ و ۱۰ ملاحظه شوند). قیود بهینه‌سازی که در شکل ۱۰ ذکر شده‌اند، اجازه کاهش بیش از حد عرض شناور بهینه شده را نمی دهد. از سوی دیگر با افزایش سرعت شناور، طول شناور بهینه شده افزایش، ولی آبخور آن کاهش یافته است. می‌توان گفت در حجم جابجایی و عرض ثابت، شناوری که طول بیشتر و آبخور کمتری دارد مقاومت هیدرودینامیکی کمتر و سرعت بیشتری دارد (شکل‌های ۱۸ و ۱۹ ملاحظه شود).



شکل ۱۷ : نمودار تغییرات طول بهینه شده بر حسب ظرفیت بارگیری کانتینر، در سرعت‌های مختلف شناور.



شکل ۱۸ : نمودار تغییرات عرض بهینه شده بر حسب ظرفیت بارگیری کانتینر، در سرعت‌های مختلف شناور.

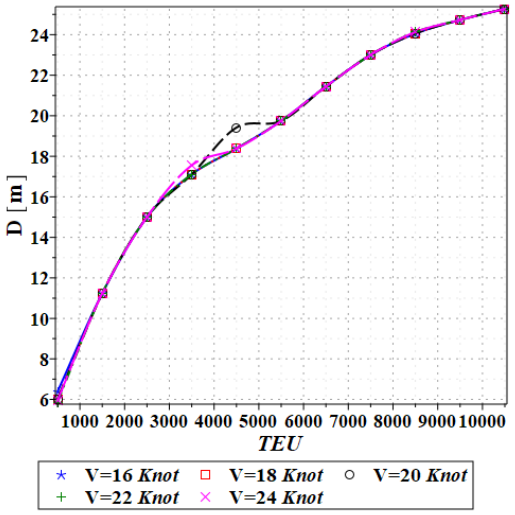


[1] Energy Efficiency Design Index[8](EEDI)

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.41.7.7]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.41.85]

شکل ۱۹ : نمودار تغییرات آبخور بهینه شده بر حسب ظرفیت بارگیری کانتینر، در سرعت‌های مختلف شناور.

در شکل ۲۰ عمق شناور بهینه شده در سرعت‌ها و ظرفیت بارگیری مختلف نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، در تمام سرعت‌ها عمق شناور بهینه شده به جزء نوسان جزئی در محدوده 5000 TEU در بقیه ظرفیت‌های بارگیری تقریباً یکسان است. تاثیر مستقیم عمق در بخش مقاومت مربوط به هوا است. این بخش از مقاومت در مقایسه با سایر بخش‌های مقاومت ناچیز است. از سوی دیگر عمق تاثیر مستقیم بر تعادل شناور دارد که تاثیر آن در موقعیت مرکز ثقل و ارتفاع متاسنتر است. در واقع شناور بهینه باید کمترین عمق را داشته باشد. بنابراین، تنها عامل بازدارنده در مقابل کاهش بیش از حد عمق قیود بهینه‌سازی است که در شکل ۱۰ نشان داده شده‌اند. مقایسه شکل‌های ۱۰ و ۲۰ نشان می‌دهد که برای شناور کمترین عمق ممکن در نظر گرفته شده است.

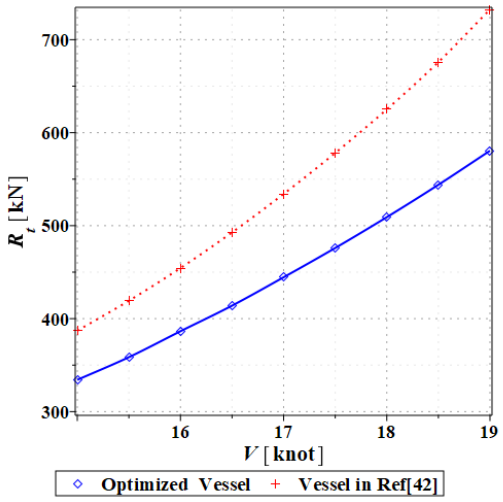


شکل ۲۰ : نمودار تغییرات عمق شناور بهینه شده بر حسب ظرفیت بارگیری کانتینر، در سرعت‌های مختلف شناور.

موضوع دیگری که در اینجا حائز اهمیت است مقایسه مشخصات یک شناور بهینه شده با یک فروند شناور مبنا با همان ظرفیت بارگیری است. برای این منظور با انتخاب مشخصات ذکر شده در جدول ۲ یعنی شناور کانتینری با ظرفیت 1000 TEU و حجم زیرآبی $\nabla = 18872.0\ m^3$ به عنوان شناور مبنا، ابعاد آن بهینه‌سازی شده است. در فرایند بهینه‌سازی، حجم زیرآبی و ضریب لاغری ثابت و برابر با مقادیر شناور مبنا در نظر گرفته شدند. سایر متغیرهای حاکم با استفاده از معادلات ذکر شده در بخش ۳ محاسبه شدند.

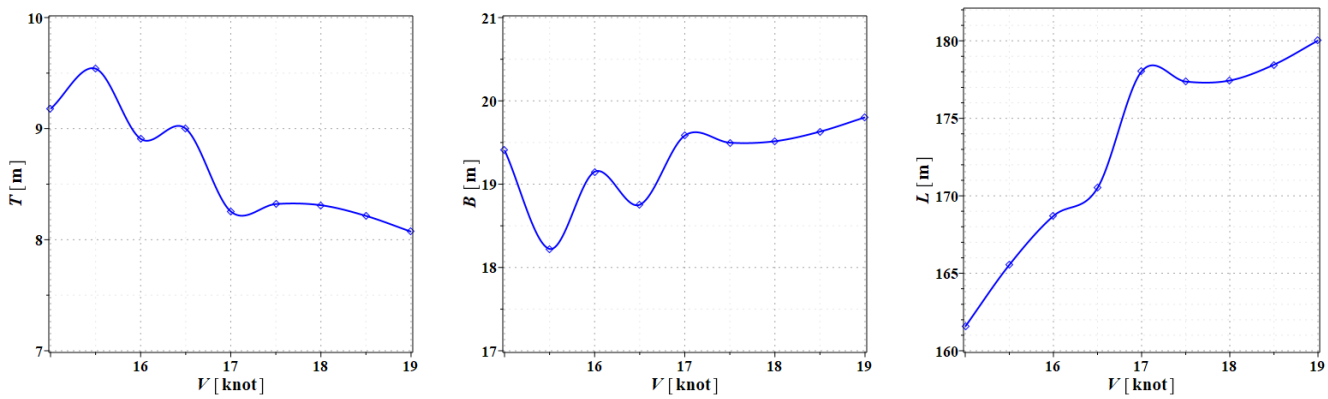
برای مثال، برای محاسبه مساحت سطح خیس و سطح بادگیر از معادلات (۱۹) و (۲۳) استفاده شد. نتایج بهینه‌سازی در شکل ۲۱ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود مقاومت شناور بهینه شده در سرعت 15 knot حدود 14% و در سرعت 19 knot حدود 21% کمتر از سرعت شناور مبنا است. با توجه به اهمیت کاهش مصرف سوخت در شناورها (مرجع [۲۴] ملاحظه شود) این مقدار کاهش مقاومت بسیار حائز اهمیت است.

نمودار تغییرات ابعاد شناور بهینه شده نیز در شکل ۲۲ نشان داده شده است. همانطور که نتایج نشان می‌دهد، ابعاد شناور بهینه تابع سرعت آن است، با افزایش سرعت، طول شناور بهینه شده افزایش می‌یابد. از سوی دیگر با افزایش سرعت رفتار کلی تغییرات آبخور شناور کاهشی است. اما رفتار تغییرات عرض نسبت به سرعت نوسانی است. نکته مهمی که لازم است در اینجا به آن تاکید شود این است که، در انتخاب ابعاد شناور سایر ملاحظات طراحی مانند جانمایی بهینه کانتینرها، وزن شناور، ملاحظات ساخت، ملاحظات مربوط به محدودیت ابعاد شناور جهت عبور از آبراه‌ها و موارد مشابه می‌بایست جداگانه بررسی شود. البته هر کدام از این محدودیت‌ها می‌توانند به عنوان قیود طراحی به الگوریتم بهینه‌سازی اعمال گردد و نتایج مطلوب‌تری بدست آورد.



شکل ۲۱ : نمودار تغییرات مقاومت هیدرودینامیکی شناور کانتینری بهینه شده با ظرفیت 1000 TEU در سرعت‌های مختلف.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.41.7.7]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.41.85]



شکل ۲۲ : ابعاد شناور کانتینری بهینه شده با ظرفیت 1000 TEU در سرعت‌های مختلف.

۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، الگوریتم بهینه‌ساز سوسک سرگین غلتان معروف به الگوریتم DBO که اخیراً توسعه پیدا کرده است، با جزئیات شرح داده شد. قیود اضافی به الگوریتم اعمال، و سپس به کمک آن ابعاد کشتی کانتینری در سرعت‌های مختلف، با هدف داشتن حداقل مقاومت هیدرودینامیکی بهینه‌سازی گردید. معادلات حاکم جهت محاسبه مقاومت از روش تجربی هولتروپ استخراج شدند. قیود اضافی شامل حجم زیرآبی مشخص، محدوده مجاز ابعاد و تعادل هیدرواستاتیکی نیز به معادلات اعمال گردید. نمودارهای مقاومت هیدرودینامیکی و ابعاد بهینه شده شناور بر حسب ظرفیت بارگیری شناور (یعنی مقدار TEU) ارائه شدند. همچنین، نتایج بدست آمده از الگوریتم DBO با الگوریتم موجود در تابع کتابخانه‌ای Optimization نرم‌افزار میپل مقایسه شدند و همخوانی خوبی بین نتایج مشاهده گردید.

از مهمترین نتایج این پژوهش موارد ذیل را می‌توان ذکر کرد:

۱- قید بهینه‌سازی بر روی مقدار حداقل عرض، عامل تعیین کننده است و اجازه کاهش بیش از حد عرض شناور بهینه شده را نمی‌دهد.

۲- در حجم جابجایی ثابت، با افزایش سرعت شناور، طول شناور بهینه شده افزایش، ولی آبخور آن کاهش می‌یابد. یعنی، در حجم جابجایی و عرض ثابت، شناوری که طول بیشتر و آبخور کمتری دارد، مقاومت هیدرودینامیکی کمتر و سرعت بیشتری دارد.

۳- نتایج بهینه‌سازی بر روی ابعاد یک فروند شناور کانتینری با ظرفیت 1000 TEU نشان داد که مقاومت هیدرودینامیکی شناور بهینه شده در سرعت 15 knot می‌تواند تا حدود 14% و در سرعت 19 knot تا حدود 21% کمتر از سرعت شناور اولیه گردد.

۴- به دلیل پیاده‌سازی ساده در زبان‌های برنامه‌نویسی، امکان ویرایش و تغییرات، دقت بهینه‌سازی و سرعت همگرایی بالا، این پژوهش، استفاده از الگوریتم DBO را جهت بهینه‌سازی‌های پیچیده پیشنهاد می‌کند. برای مثال:

۵- حل ریشه‌های معادلات جبری غیر خطی، همچنین حل دستگاه معادلات جبری غیر خطی که روش‌های مرسوم در مورد آنها راهگشا نیست.

۶- طراحی سازه با حداقل وزن برای تحمل نیروی مشخص، مثلاً طراحی یک پل، جرثقیل با سازه خرپایی برای انجام ماموریت مشخص و با حداقل وزن.

۷- در مسائل مرتبط با پایش سلامت و عیب‌یابی سازه‌ها.

۷- مراجع

1. Qin, Y., Jin, L., Zhang, A. and He, B.,(2020), *Rolling bearing fault diagnosis with adaptive harmonic kurtosis and improved bat algorithm,* IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement **70**, p. 1-12. https://doi.org/10.1109/TIM.2020.3046913
2. Li, M., *et al.*,(2023), *Fault diagnosis model of rolling bearing based on parameter adaptive AVMD algorithm,* Applied Intelligence **53**(3), p. 3150-3165. https://doi.org/10.1007/s10489-022-03562-9
3. Karami, H., *et al.*,(2019), *Optimization of energy management and conversion in the water systems based on evolutionary algorithms,* Neural Computing and Applications **31**, p. 5951-5964.. https://doi.org/10.1007/s00521-018-3412-6
4. Singh, A. R., Ding, L., Raju, D. K., Raghav, L. P. and Kumar, R. S.,(2022), *A swarm intelligence approach for energy management of grid-connected*

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.41.7.7]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.41.85]

microgrids with flexible load demand response, International Journal of Energy Research **46**(4), p. 4301-4319. https://doi.org/10.1002/er.7427

5. Li, J., Lei, Y. and Yang, S.,(2022), *Mid-long term load forecasting model based on support vector machine optimized by improved sparrow search algorithm,* Energy Reports **8**, p. 491-497. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.02.188
6. Wei, D., Wang, J., Li, Z. and Wang, R.,(2021), *Wind power curve modeling with hybrid copula and grey wolf optimization,* IEEE Transactions on Sustainable Energy **13**(1), p. 265-276. https://doi.org/10.1109/TSTE.2021.3109044
7. Kennedy, J. and Eberhart, R.,(1995), in *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks*. IEEE, vol. 4, p. 1942-1948. https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968
8. Liu, W.*, et al.*,(2019), *A novel sigmoid-function-based adaptive weighted particle swarm optimizer,* IEEE transactions on cybernetics **51**(2), p. 1085-1093. https://doi.org/10.1109/TCYB.2019.2925015
9. Chi, W., Ding, Z., Wang, J., Chen, G. and Sun, L.,(2021), *A generalized Voronoi diagram-based efficient heuristic path planning method for RRTs in mobile robots,* IEEE Transactions on Industrial Electronics **69**(5), p. 4926-4937. https://doi.org/10.1109/TIE.2021.3078390
10. Pehlivanoglu, Y. V. and Pehlivanoglu, P.,(2021), *An enhanced genetic algorithm for path planning of autonomous UAV in target coverage problems,* Applied Soft Computing **112**, p. 107796. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107796
11. Li, M., Xu, G., Fu, B. and Zhao, X.,(2022), *Whale optimization algorithm based on dynamic pinhole imaging and adaptive strategy,* The Journal of Supercomputing, p. 1-31. https://doi.org/10.1007/s11227-021-04116-5
12. Mirjalili, S., Mirjalili, S. M. and Lewis, A.,(2014), *Grey wolf optimizer,* Advances in engineering software **69**, p. 46-61. https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.12.007
13. Mirjalili, S. and Lewis, A.,(2016), *The whale optimization algorithm,* Advances in engineering software **95**, p. 51-67. https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2016.01.008
14. Heidari, A. A.*, et al.*,(2019), *Harris hawks optimization: Algorithm and applications,* Future generation computer systems **97**, p. 849-872. https://doi.org/10.1016/j.future.2019.02.028
15. Ebadinezhad, S.,(2020), *DEACO: Adopting dynamic evaporation strategy to enhance ACO algorithm for the traveling salesman problem,* Engineering Applications of Artificial Intelligence **92**, p. 103649. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2020.103649
16. Yang, K., You, X., Liu, S. and Pan, H.,(2020), *A novel ant colony optimization based on game for traveling salesman problem,* Applied Intelligence **50**, p. 4529-4542. https://doi.org/10.1007/s10489-020-01799-w
17. Liu, Y., Chen, S., Guan, B. and Xu, P.,(2019), *Layout optimization of large-scale oil–gas gathering system based on combined optimization strategy,* Neurocomputing **332**, p. 159-183. https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.12.021
18. Huang, M., Lin, H., Yunkai, H., Jin, P. and Guo, Y.,(2012), *Fuzzy control for flux weakening of hybrid exciting synchronous motor based on particle swarm optimization algorithm,* IEEE Transactions on Magnetics **48**(11), p. 2989-2992. https://doi.org/10.1155/2020/1390650
19. Zeng, N.*, et al.*,(2020), *A dynamic neighborhood-based switching particle swarm optimization algorithm,* IEEE

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.41.7.7]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.41.85]

Engineering for the Maritime Environment **233**(3), p. 745-759. https://doi.org/10.1177/1475090218781115

27. Jianping, C., Jie, X., You, G. and Li, X.,(2016), *Ship Hull Principal Dimensions Optimization Employing Fuzzy Decision-Making Theory,* Mathematical Problems in Engineering. https://doi.org/10.1155/2016/5262160
28. Seif M. S., Kazemipour A., (2019). *Ship Trim Optimization for the Reduction of Fuel Consumption*, Marine Engineering, **15**(29), p. 63-78, (In Persian). https://marine-eng.ir/article-1-684-fa.html
29. Mehrizi A., Tavakoli Dakhrabadi, M., Vafaee Sefat, A. and Seif, M. S., (2012), *Hydrodynamic Optimization of Hull Form of High Speed Planing Craft by Multi Objective Genetic Algorithm in Calm Water*, Marine Engineering **7**(14), p. 45-58, (In Persian). http://marine-eng.ir/article-1-95-fa.html
30. Ebrahimi, A., (2023), *Optimizing the dimensions of a container ship using the multi-objective genetic algorithm method*, Journal of Marine Engineering 18(37), p. 70-78, (In Persian). http://marine-eng.ir/article-1-947-en.html
31. Guo, X.*, et al.*,(2023), *Speaker Recognition Based on Dung Beetle Optimized CNN,* Applied Sciences **13**(17), p. 9787. https://doi.org/10.3390/app13179787
32. Zilong, W. and Peng, S.,(2023), *A multi-strategy dung beetle optimization algorithm for optimizing constrained engineering problems,* IEEE Access. https://doi.org/10.1109/access.2023.3313930
33. Zhu, X., Ni, C., Chen, G. and Guo, J.,(2023), *Optimization of Tungsten Heavy Alloy Cutting Parameters Based on RSM and Reinforcement Dung Beetle Algorithm,* Sensors **23**(12), p. 5616. https://doi.org/10.3390/s23125616
34. Yin, Z. and Zinn-Björkman, L.,(2020), *Simulating rolling paths and reorientation* transactions on cybernetics **52**(9), p. 9290-9301. https://doi.org/10.1109/TCYB.2020.3029748
20. Guo, Q., Gao, L., Chu, X. and Sun, H.,(2022), *Parameter identification for static var compensator model using sensitivity analysis and improved whale optimization algorithm,* CSEE Journal of Power and Energy Systems **8**(2), p. 535-547. https://doi.org/10.17775/CSEEJPES.2021.03540
21. Zhong, C. and Li, G.,(2022), *Comprehensive learning Harris hawks-equilibrium optimization with terminal replacement mechanism for constrained optimization problems,* Expert Systems with Applications **192**, p. 116432. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116432
22. Chang, Z.*, et al.*,(2021), *5G private network deployment optimization based on RWSSA in open-pit mine,* IEEE Transactions on Industrial Informatics **18**(8), p. 5466-5476. https://doi.org/10.1109/TII.2021.3132041
23. Xue, J. and Shen, B.,(2023), *Dung beetle optimizer: A new meta-heuristic algorithm for global optimization,* The Journal of Supercomputing **79**(7), p. 7305-7336. https://doi.org/10.1007/s11227-022-04959-6
24. Polakis, M., Zachariadis, P., & de Kat, J. O. (2019). *The energy efficiency design index (EEDI).* Sustainable Shipping: A Cross-Disciplinary View, 93-135. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04330-8_3
25. Charchalis, A.,(2014), *Determination of main dimensions and estimation of propulsion power of a ship,* Journal of KONES **21**(2), p. 39-44. https://doi.org/10.5604/12314005.1133863
26. Jung, Y.-W. and Kim, Y.,(2019), *Hull form optimization in the conceptual design stage considering operational efficiency in waves,* Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.41.7.7]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.41.85]

43. Holtrop, J.,(1988), A statistical resistance prediction method with a speed dependent form factor, Proceedings of the 17th Session BSHC, Varna 1, p. 3.1.
44. Guldhammer, H. and Harvald, S. A.,(1974), SHIP RESISTANCE-Effect of form and principal dimensions.(Revised), Danish Technical Press, Danmark, Danmarks Tekniske Hojskole, kademisk Forlag, St. kannikestrade 8, DK 1169 Copenhagen. http://resolver.tudelft.nl/uuid:1fa6c8b7-17c9-47ec-8a2f-d0afd56f51a0
45. Garrido, J.,(2019). *Container-ship size: What dimensions can we expect to see?* Pier Next. https://piernext.portdebarcelona.cat/en/mobility/container-ship-size/

پیوست ۱: شبه کد الگوریتم DBO همراه با قیود

Input: The size of population N, the number of maximum iterations T_{max}, the objective function f, the problem bounds LB and Ub , the problem $Constraints$, the problem dimension Dim.
Output: Optimum position X_b and its fitness value f_b

#==========

For i from 1 to N do
    Initialize population and define relevant .parameters of the algorithm
End do
==========#
For t from 1 to T_{max} do
    For i from 1 to N do
        ==========#
        If i=ball rolling dung beetle then
            δ=rand(0.0..1.0)
            If δ <0.9 then
                γ=rand (0.0..1.0)
                If γ>0.1 then
                    $\alpha = 1$
                Else
                    $\alpha = -1$
                End if
                Update the boll-rolling dung beetle's position by Eq. 1
            Else
                Update the boll-rolling dung beetle's position by Eq. 2
            End if
            If the rolling dung beetle is out of Lb or Ub Push it until it falls within the range.
            If the rolling dung beetle does not follow the $Constraints$, force it to

behavior of ball-rolling dung beetles, Journal of Theoretical Biology **486**, p. 110106. https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2019.110106
35. Notteboom, T. and Cariou, P.,(2009), *Fuel surcharge practices of container shipping lines: Is it about cost recovery or revenue making*, in Proceedings of the 2009 international association of maritime economists (IAME) conference. IAME Copenhagen, Denmark, p. 24-26. https://www.academia.edu/download/30824512/5-28_presentation.pdf
36. DNV AS, (2016). *Container Ship Update 2016*. https://issuu.com/dnvgl/docs/dnv_gl_container_ship_update__2016
37. Schneekluth, H. and Bertram, V.,(1998), *Ship design for efficiency and economy*, Butterworth-Heinemann Oxford, vol. 218. https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-4133-3.X5000-2
38. Charchalis, A. and Krefft, J.,(2009), *Main dimensions selection methodology of the container vessels in the preliminary stage,* Journal of KONES **16**, p. 71-78. https://bibliotekanauki.pl/articles/241689
39. IMO (2008), International Code on Intact Stability, 2008, International Maritime Organization. https://www.imorules.com/IS2008.html
40. Woo, D., Choe, H. and Im, N.-K., (2021), Analysis of the Relationship between GM and IMO Intact Stability Parameters to Propose Simple Evaluation Methodology, Journal of Marine Science and Engineering 9(7), p. 735. https://doi.org/10.3390/jmse9070735
41. ITTC, (2011), ITTC – Recommended Procedures and Guidelines, Resistance Test, ITTC. https://ittc.info/media/1217/75-02-02-01.pdf
42. Birk, L.,(2019), *Fundamentals of ship hydrodynamics: Fluid mechanics, ship resistance and propulsion*, John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9781119191575

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.41.7.7]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.41.85]

follow the limits, if not possible, target it.
#==========
If i= brood ball then
$R = 1 - \frac{t}{T_{max}}$
Update the brood balls position by Eq. 4
For j from 1 to Dim do
If $Bij > Ub^*$ then
$Bij = Ub^*$
End if
If $Bij < Ub^*$ then
$Bij = Lb^*$
End if
End do
End if
If the brood ball is out of Lb or Ub Push it until it falls within the range.
If the rolling dung beetle does not follow the $Constraints$, force it to follow the limits, if not possible, target it.
#==========
if i= small dung beetle then
Update the brood ball's position by Eq. 6
End if
If the rolling dung beetle is out of Lb or Ub Push it until it falls within the range.
If the rolling dung beetle does not follow the $Constraints$, force it to follow the limits, if not possible, target it.
#==========
If i= theif then
Update the theif position by Eq. 7
End if
If the rolling dung beetle is out of Lb or Ub Push it until it falls within the range.
If the rolling dung beetle does not follow the $Constraints$, force it to follow the limits, if not possible, target it.
#==========
End For.
If the newly generated position is better than before then
Update it;
End if
$T = t + 1$
End For
#==========
Return X_b and its fitness value f_b.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.41.7.7]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.41.85]