



## طرح بهینه شناورهای کلاس لندینگ کرافت

محسن خسروی بابادی<sup>۱</sup>، مهدی یوسفی فرد<sup>۲</sup>

Mohsen\_khb@yahoo.com ; Yousefi\_mahdi@yahoo.com

### چکیده

شناورهای کلاس لندینگ کرافت با دارا بودن مشخصاتی نظیر فرم ساده بدنه، آبخور کم و امکان حمل انواع بارها یک گزینه مناسب در شرایط خاص آب‌های کم‌عمق و بنادر با امکانات کم است. استفاده تجاری از این نوع شناور مستلزم بررسی طراحی پایه و انجام برآوردهای اقتصادی و فنی آن است. در این مطالعه با تکیه بر نتایج تجربی طراحی و ساخت ۲۰ نمونه از این شناور، راهکارهایی در جهت بهبود عملکرد آن ارائه، و نتایج تحلیل‌های اولیه و اطلاعات بدست آمده از شناورهایی با ابعاد اصلی مقایسه شده و افزایش حدود ۲۰ درصد باربری، ۱۰ درصد راندمان رانش، بهینه نمودن وزن، استحکام، مانور، جانمایی عمومی، قابلیت دریانوردی و هیدرودینامیکی شناور نتیجه شده است.

**کلمات کلیدی:** لندینگ کرافت، فرم بدنه، شناور تجاری، بهینه سازی

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد سازه های دریایی مرکز طراحی و پژوهش های دریایی - بخش مدیریت انرژی

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد سازه های دریایی مرکز طراحی و پژوهش های دریایی



## ۱- مقدمه

استفاده از کشتی‌های کلاس لندینگ کرافت در جنگ جهانی دوم به عنوان یک شناور لجستیکی از رونق بسیاری برخوردار بود. قابلیت‌هایی نظیر فرم ساده بدن، آبخور و ارتفاع کم و توانائی پهلوگیری در مناطق بدون اسکله سبب می‌شد جهت حمل تجهیزات و نفرات مورد استفاده قرار گیرد.

آبخور کم باعث می‌شد این شناور توانائی تردد در آب‌های محدود را داشته باشد. همچنین عرض زیاد و ارتفاع اندک، آنها را از دید دشمن مخفی می‌کرد. پس از جنگ نیز این شناورها به دفعات در نیروی دریایی کشورهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته و جایگاه خود را به عنوان یک شناور لجستیکی حفظ نموده‌اند.

در بسیاری از کشورها که با مشکل عمق کم آب‌های ساحلی، عدم وجود اسکله‌های بارگیری و تخلیه مناسب و امکانات کم ساخت مواجه هستند، این کلاس به عنوان یک گزینه مناسب و زود بازده در مقاصد تجاری مطرح است. علاوه بر موارد فوق امکان بارگیری به عنوان یک کشتی رورو می‌تواند این شناورها را به عنوان یک کشتی چندمنظوره (Multi purpose) مطرح کند.

کاربری تجاری این نوع شناور نیازمند در نظر گرفتن پارامترهای عملیاتی جدید می‌باشد. عملکرد هیدرودینامیکی بالا، صرفه اقتصادی حمل بار و کاهش هزینه‌های ساخت مواردی از این پارامترها می‌باشد. در این مطالعه با تکیه بر سابقه طراحی و ساخت بیش از ۲۰ نوع از این نوع شناور اقدام به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری در جهت انتخاب بهترین مورد تجاری آن شده است.

## ۲- جانمایی عمومی

عرض زیاد و به طبع آن ارتفاع بالای متناسنتر عرضی امکان بارگیری تریلر و کانتینر را بر روی عرشه بوجود می‌آورد. در شناورهای با طول کم استفاده از راهرو (Corridor) طولی جهت عبور لوله و دسترسی به قسمت‌های سینه شناور به جای کف دو جداره توصیه می‌گردد.

تغییرات در فضاهای و کمپارتمنهای زیر عرشه و استفاده از دریچه‌های آببند با ابعاد کوچک این امکان را فراهم می‌آورد تا با استناد به قوانین خط شاهین به آبخورهای بالاتر دست پیدا کرد.



ارتفاع کم بدنه و فاصله نزدیک کابین خدمه و موتورخانه باعث کاهش کیفیت زیست و ایجاد ارتعاش می‌گردد. تست ارتعاش شناورهای اولیه توسط تیم طراحی در این مورد اطلاعات تجربی مفیدی را در اختیار قرار داد. تبدیل طبقه اول سوپراستراکچر به پیلوت و اتصال آن به عرش، علاوه بر کاهش ارتعاش آن باعث افزایش سطح مفید عرشه و توانائی حمل بار در قسمت انتهای شناور می‌شود[1].

### ۳- ارتفاع آزاد (FREEBOARD)

استفاده از فضای زیر عرشه به عنوان تانک حمل سوخت و آب شیرین در این شناور می‌توان کمک نمود تا ارتفاع آزاد شناور به اندازه قابل توجه ای کم‌گردد و آبخور بر اساس آئین نامه خط شاهین Load line افزایش یابد. جداسازی روسازه از بدنه اصلی و ایجاد فضایی مانند پیلوت در شناور در افزایش ارتفاع آزاد نقش داشته و علاوه بر آن با این کار حجم مؤثر در محاسبه تناظر ناخالص کاهش و به طبع آن هزینه‌های اخذ کلاس افت زیادی دارد. با انجام این کار بر اساس قوانین خط شاهین (Load Line)، مقدار فریبرد شناور افزایش می‌یابد. به همین جهت چندین روش برای جبران این امر تا حدی که کمترین اثر را روی تناظر ناخالص داشته باشد مورد استفاده قرار گرفت. بهترین روش استفاده از شیب طولی عرشه (Sheer) می‌باشد که توانست تا حد زیادی این مشکل را حل کند. با اعمال این تغییرات بدون افزایش ابعاد اصلی، تناظر قابل حمل شناور تا ۱۵ درصد افزایش یافته است[7].

### ۴- تعادل استاتیکی

اگرچه عرض زیاد و وجود دریچه‌های کوچک آببند در عرشه قابلیت‌های بالای تعادل استاتیکی شناور را ناشی می‌شود، پاسخ سریع شناور به حرکت رل Rolling باعث وقوع دریازدگی در خدمه می‌گردد. این پدیده حتی در مواقعی که شناور در امواج حرکت نمی‌کند نیز کاملاً مشهود است. با بیشتر شدن آبخور و کاهش بازوی بازگردان و ارتفاع متاستریک شناور پریود این حرکت نوسانی افزایش و به طبع آن شتابهای وارد بر کارکنان کاهش می‌یابد. در بسیاری از شناورهایی که پیشتر ساخته شده‌اند ضریب اطمینان بالائی جهت پارامترهای استاتیکی در نظر گرفته شده است. این حاشیه امنیت باعث افزایش هزینه‌ها و بعضًا اثرات منفی دیگر می‌باشد. از دیدگاه مالک رسیدن به حداقل‌های مورد نیاز آئین نامه و در کنار آن بهبود رفتار هیدرودینامیکی شناور از اهمیت بیشتری برخوردار است.



در شکل ۱ دو نمونه از نمودار بازوی بازگردان شناور پیش و پس از تغییر فرم ارائه شده است. مشاهده می‌گردد با ایجاد تغییرات در فرم بدن، کاهش محسوسی در بازوی بازگردان بوجود می‌آید[2].

## ۵- قابلیت دریانوردی:

به رقم برخورداری از سرعت پایین و محدوده عملیاتی اندک، هر اقدامی که با تأثیر مثبت در قابلیت دریانوردی این شناور همراه باشد با استقبال روبرو می‌گردد. به علت ثبت کلاس لندینگ کرافت و احتمال برخورد قسمت‌هایی از سینه شناور با بستر دریا مؤسسه رده‌بندی در مورد تغییر فرم بدن سینه و انحراف از حالت تخت بسیار سخت‌گیرانه عمل می‌کند. با انجام محاسبات فرایند به‌گل نشستن (Grounding) و تست چند شناور از این کلاس در هنگام به گل نشستن و همچنین استفاده از ورق کیل تقویت شده در این قسمت علاوه بر ارضاء حداقل‌های مقررات، فرم سینه شناور جهت کاهش پدیده کوبش کف (Pounding) تغییر یافت. با اعمال این تغییرات در فرم کف شناور در ناحیه سینه امکان کاهش وزن سازه در این قسمت به‌جهت کمتر شدن نیروهای وارد بر آن فراهم شده است.

با در نظر گرفتن عرض ورق کیل معادل  $1/2$  متر و شبیب حداقل  $3$  درجه در ورق کف و فرض تردد شناور در محدوده آب‌های ساحلی خلیج فارس کاهش محسوسی در نیروهای وارد در اثر کوبش کف مشاهده می‌گردد. همچنین با مقایسه میان شتاب‌های عمودی در نقاط حساس روی عرشه شناور پیشرفت‌های محسوسی مشاهده گردید. با ایجاد بیلچ (Bilge) و تغییر مقطع عرضی شناور نتایج مثبتی در قابلیت‌های دریانوردی آن حاصل شد. شتاب‌های عمودی بر روی عرشه تا  $5$  درصد در امواج روبرو کاهش یافت. (شکل ۲) افزایش این مقدار در امواج با زاویه از اهمیت کمتری برخوردار است. با وجود افزایش مقدار RMS حرکت رول که قابل پیش‌بینی نیز بود می‌توان با نصب بیلچ کیل به مقادیر بهتر از حالت اولیه دست یافت. لازم به ذکر است امکان نصب بیلچ کیل در مدل اول نیست.

## ۶- مانور:

استفاده از المان سازه کیل بار (Keel bar) در زیر ورق کیل علاوه بر تأثیر مثبت بر کاهش دامنه حرکت رول شناور باعث افزایش مدول مقطع میانی به‌دلیل فاصله مناسب از تار خنثی می‌گردد. همچنین کف شناور را در مقابل خطر برخورد با بستر دریا محافظت می‌کند. محاسبات اولیه نشان‌دهنده تأثیر مثبت آن در حفظ مسیر مستقیم بوده است.



همچنین در ادامه با استفاده از سیستم رانش خاص می‌توان قابلیت مانور این شناور بخصوص در مناطق کنار اسکله را تا حد زیادی بهبود بخشد.

## ۷- سیستم رانش:

عرض زیاد، فرم خاص پاشنه و آبخور کم باعث ایجاد محدودیت در طراحی و انتخاب سیستم رانش می‌گردد. ارتفاع کم بدنه در پاشنه شناور امکان طراحی مناسب پروانه را میسر نمی‌سازد. در شناور نمونه حداکثر قطر پروانه با در نظر گرفتن هندسه پاشنه  $1/5$  متر است، در حالی که در محاسبات اولیه قطر پیشنهادی جهت دستیابی به تراست مورد نظر بیش از ۲ متر تخمین شده است. استفاده از دو سیستم مجزا باعث افزایش افت‌ها و کاهش راندمان رانش و همچنین افزایش هزینه‌ها می‌گردد.

فاصله زیاد موتورها از عمود پاشنه (Aft perpendicular) افت مکانیکی در انتقال توان را افزایش داده و فضای قابل ملاحظه‌ای از حجم زیر عرشه قسمت‌های انتهائی شناور را اشغال می‌کند. جهت رفع این نواقص استفاده از سیستم آزمیوت(شکل ۳) پیشنهاد می‌گردد. این سیستم در شناورهای با سرعت کم توجیه اقتصادی پیدا می‌کند. با استفاده از این سیستم در شناور طرح مشاهده می‌گردد علاوه بر کاهش وزن سیستم رانش، تا  $10$  درصد به راندمان رانش افزوده می‌گردد. با وجود هزینه اولیه بالاتر خرید این سیستم، با افزایش توان حمل بار بیشتر بتوان آن را جبران نمود. چنانچه برای یک نمونه شناور لندینگ کرافت با فرض دریانوری در محدوده خلیج فارس و تبدیل سیستم رانش به آزمیوت نصب شده بر روی عرشه، محاسبات اولیه با در نظر گرفتن سه برابر بودن قیمت این سیستم رانش نسبت به سیستم‌های متداول محاسبات اولیه حاکی از آن بود که افزایش فضای بار قابل حمل (حدود  $11$  درصد در محوطه موتور خانه) در طول یک سال می‌تواند این هزینه را جبران کند.

بیشترین مشکل در شناور کلاس لندینگ کرافت تریم در حالتی است که شناور بار کامل حمل کند و این باعث تریم به سمت جلو شناور می‌باشد و تا کنون به وسیله حمل آب بالاست در قسمت پاشنه شناور این مشکل برطرف می‌شود، اما در شناور بهینه شده که از سیستم رانش آزمیوت(شکل ۳) استفاده شده و به جای فضای خالی موتورخانه که دارای حجم زیاد و وزن کم می‌باشد بار حمل می‌شود و به طور کلی مسئله حل گردیده است و نیاز به هیچ گونه آب بالاست در قسمت عقب شناور نمی‌باشد.



از طرف دیگر در شناورهای کلاس لندینگ کرافت ارتعاشات و سر و صدا مسئله بغرنجی به جساب می‌اید که تاثیر منفی بر روی خدمه، سیستم‌های حساس ناوبری و ایجاد خستگی بر روی بدنه شناور دارد در صورتی که از سیستم آزمیوت استفاده گردد این مسئله به حد قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد [1].

## ۸- قابلیت‌های هیدرودینامیکی:

بدون شک حرکت به سوی تبدیل فرم بدنه این شناور به یک کشتی باربری عمومی (General cargo) گامی مؤثر در جهت بهبود قابلیت‌های هیدرودینامیکی آن است. با این وجود، محدودیت‌های کلاس، نوع عملیات، هزینه‌های ساخت و سایر عوامل باعث دور شدن از طرح ایده‌آل یک کشتی باربری عمومی می‌گردد. بنابراین با در نظر گرفتن این محدودیت‌ها سعی شده بهترین طرح موجود حاصل شود. در این طرح تغییرات زیر صورت گرفته است:

- استفاده از بیلچ با مقطع کمانی

- تغییر ارتفاع عرضی کف شناور (Rise of floor)

- استفاده از فرم سینه V شکل و پاشنه U شکل

با در نظر گرفتن این تغییرات و انجام محاسبات اولیه، پیش‌بینی کاهش ۷ درصدی توان مصرفی سیستم رانش در سرعت طراحی و آبخور ثابت از دقت خوبی برخوردار بود. از آنجا که ابعاد شناور بدون تغییر باقی مانده است هنوز هم تغییرات در بدنه و استفاده از سیستم رانش جدید باعث کاهش توان مصرفی سیستم رانش مورد نیاز می‌باشد.

## ۹- وزن سبک شناور (وزن فولاد بکار رفته)

با استفاده از روش‌های زیر وزن سبک شناور را تا حد ۱۱ درصد کاهش یافت و وزن قابل حمل بار توسط شناور به همان اندازه افزایش نمود.

۱. استفاده از سیستم پوسته (ورق احنا دار) به جای ورق (ورق تخت) در بدنه شناور نه تنها باعث افزایش استحکام شده بلکه نقش بسزایی در کاهش وزن داشته است. این تاثیر بیشتر در قسمت بیلچ شناور کاربرد دارد.
۲. استفاده از ورق‌های تقویت شده به جای ورقهایی که با جوشکاری پروفیل بر روی آن تقویت می‌شوند.



۳. جایگزینی سیستم فریم بندی ترکیبی به جای سیستم های فریم بندی طولی و یا عرضی در بدنه شناور.

قابل ذکر است تمام موارد فوق در شناور مورد آزمایش قرار گرفته است (نتایج آن قابل ارائه می باشد).

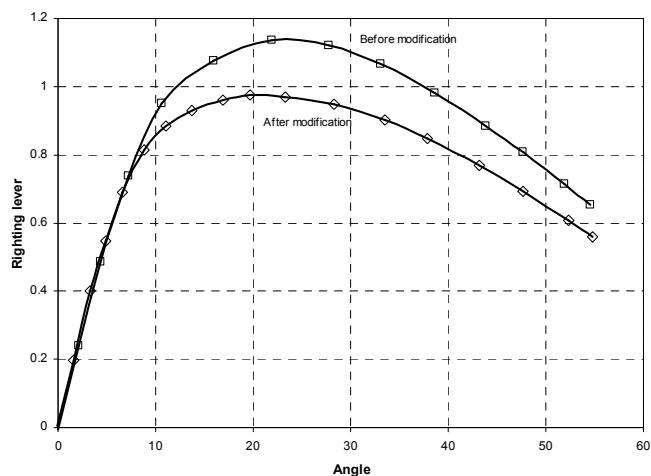
## ۱۰- طرح بهینه شناور

با تکیه بر نتایج بدست آمده در بالا، طرح بهینه بر اساس حمل بیشترین بار با کمترین هزینه و با حفظ محدودیت های کلاس لنдинگ کرافت و قابلیت های عملیاتی آن پیشنهاد شده است. بسیاری از مواردی که در این بخش به آن اشاره شده حاصل تجربه طراحی و ساخت بیش از ۲۰ فروند شناور لنдинگ کرافت است.

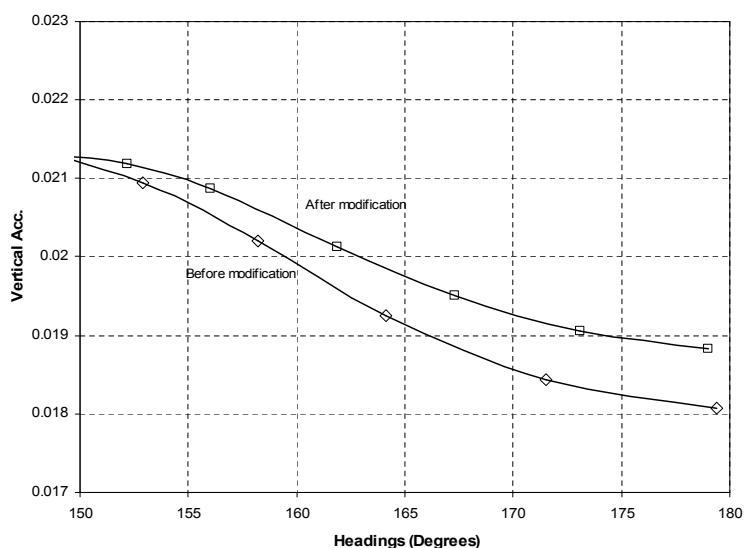
در این طرح یک لنдинگ کرافت ۵۵ متری مورد بررسی قرار گرفته و با تغییر فرم بدنه، جانمایی عمومی، سیستم رانش، وزن و سایر بخش ها و ارائه نتایج آن سعی شده مقایسه و نتیجه گیری مناسب به دست آید. با اعمال تغییرات در جانمایی عمومی، سیستم رانش و فرم بدنه شناور، امکان افزایش ۲۰۰ تن بار قابل حمل توسط شناور بوجود آمده است. مقایسه نتایج بیانگر این نکته است که با این افزایش بار سود حاصل از حمل آن بیشتر از هزینه های ناشی از تغییر است. در جدول ۱ مقایسه ای میان پارامترهای اساسی این دو شناور صورت گرفته است. می توان با یک نگاه اجمالی نتایج تبدیل شناور طرح را پس از چند مرحله طراحی و ساخت مشاهده نمود.

مشخصات	قبل از تغییر	بعد از تغییر	واحد
ابعاد اصلی	۵۰/۶X۱۳/۵X۳/۱۶	۵۰/۶X۱۳/۵X۳/۱۶	متر
ظرفیت حمل بار (DWT)	۱۰۰۰	۱۲۰۰	تن
فری برد مجاز بر اساس خط شاهین	۶۲۶	۴۹۸	میلی متر
توان مورد نیاز در نقطه طراحی	۹۱۱	۸۴۵	کیلووات

جدول ۱- مقایسه مشخصات شناور قبل و بعد از اعمال تغییرات



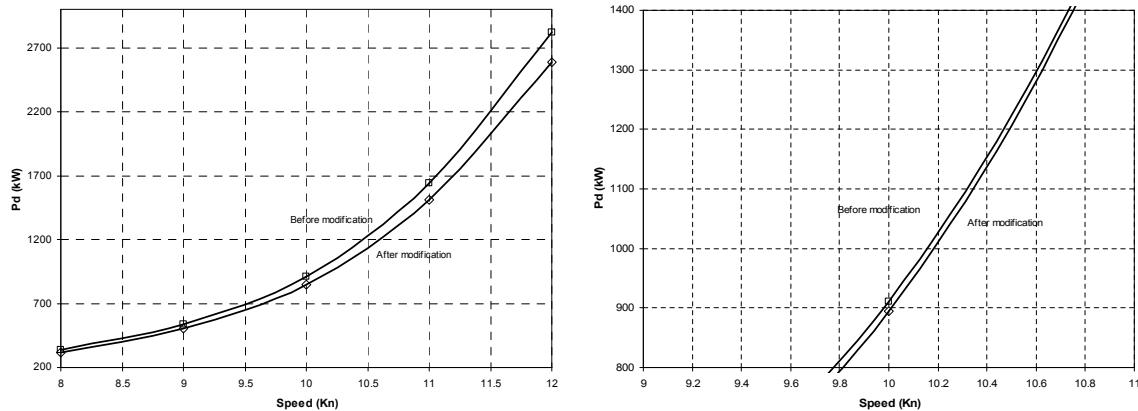
شکل ۱ - مقایسه نمودار بازوی بازگردان، قبل و بعد از بهینه‌سازی



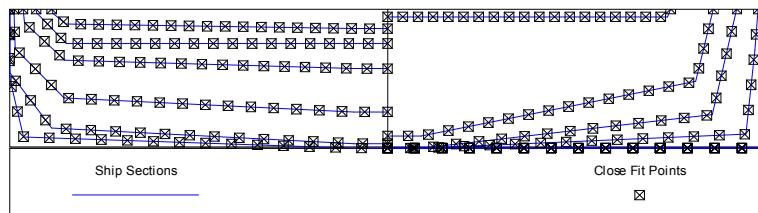
شکل ۲ - مقایسه مقادیر شتاب‌های عمودی در وسط شناور در مقابل زوایای مختلف برخورد امواج



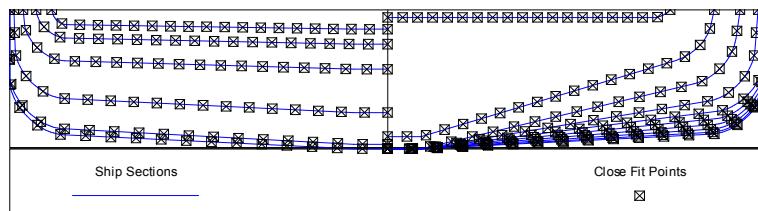
شکل ۳ - سیستم آزیمومت نصب شده بر روی عرشه شناور



شکل ۴ - مقایسه مقادیر توان شافت قبل و بعد از بهینه‌سازی، در سرعت‌های مختلف (سمت چپ با ثابت فرض کردن آبخور، سمت راست با در نظر گرفتن افزایش آبخور)



شکل ۵ - خطوط بدنه شناور قبل از تغییر (نقاط مدل شده جهت محاسبات قابلیت دریانوردی)



شکل ۶ - خطوط بدنه شناور پس از تغییر (نقاط مدل شده جهت محاسبات قابلیت دریانوردی)

## 11- منابع و مراجع

- 1- مشخصات فنی، طرح، خطوط بدنه فروند شناور لندینگ کرافت طراحی و ساخته شده ( طراحی به وسیله نویسنده ).
- [2]. International Classification, "RULES FOR THE CLASSIFICATION OF SHIPS",
- [3]. Holtrop, J. and Mennen, G.G.J.: "An approximate power prediction method", International Shipbuilding Progress, July 1982.
- [4]. Holtrop, J.: "A statistical re-analysis of resistance and propulsion data", International Shipbuilding Progress, November 1984.
- [5]. Andersen, P. and Guldhammer, H.E.: "A computer-orientated power prediction method", CADMO 1986.
- [6]. Van Oortmerssen, G.: "A power prediction method and its application to small ships", International Shipbuilding Progress, November 1971.
- [7]. IMO, "International Convention on Load Line", 1966.