

دوفصلنامه علمی دانشکده علوم و فنون شناوری
جوادالائمه (ع) نیروی دریایی سپاه

سال ۲۳ ، شماره ۶۴

بهار و تابستان ۱۴۰۳

دارای رتبه علمی از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

با مجوز شماره ۶۴۸۲۷ / ۱۸ / ۳ / مورخ ۰۴ / ۰۴ / ۱۳۹۴

شماره شاپا: ۲۴۲۳-۳۶۶۸

صاحب امتیاز:

دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)

دانشکده علوم و فنون شناوری جوادالائمه (ع) نیروی دریایی سپاه

مدیر مسؤول:

کاووس بورکی

سر دبیر:

دکتر محمود سالاری؛ استاد دانشگاه جامع امام حسین (ع)

مشاور سردبیر:

دکتر امین نجفی

ویراستار ادبی:

ابوذر حاجی زاده

هیئت تحریریه:

دکتر حسن قاسمی؛ استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دکتر محمدرضا خدمتی؛ استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دکتر علیرضا بیات؛ استادیار دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

دکتر یوسف ترابی گلسفید؛ استادیار دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)

دکتر عباسعلی سلمانی؛ استادیار دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)

دکتر محمدجواد کتابداری؛ دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دکتر عباس وفایی صفت؛ دانشیار دانشگاه جامع امام حسین (ع)

دکتر محسن شاهرضایی؛ استادیار دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)

دکتر عباس دشتی منش؛ استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه خلیج فارس

مدیر اجرایی:

محمد مرادی

طراحی و صفحه آرایی:

سید محمدباقر موسوی

نشانی: گیلان - رشت - زیباکنار - دانشگاه دریایی امام خامنه ای (مدظله العالی)

معاونت پژوهش

تلفن: ۳۳۱۴۹۱۷۴ - ۳۳۱۴۹۱۶۳ - ۰۱۳ و ۰۹۱۰۰۹۱۶۰۹

کدپستی: ۴۳۱۴۹۱۶۳۴۳۹

پست الکترونیک: daryainfo@gmail.com

فهرست:

- ۳ بررسی وضعیت علمی و پیشرفت‌های اخیر در حوزه پروانه‌های نیمه مغروق / فرهاد کیانی فلاورجانی
- ۲۱ بررسی اثر نصب هیدرو فویل بر عملکرد قایق‌های پرنده / رحمن فتاح، سعید جامعی
- ۳۰ بررسی مواد مختلف برای استفاده در کاربردهای دریایی / محمدمامین رئیسی تنگی، سعید جامعی، رامین صالح پور
- ۴۲ مقایسه نتایج عددی مدل‌های کاویتاسیونی مختلف انسیس فلونت با نتایج تجربی پروانه INSEANE779A / محمد حسین قائدشرف، مجتبی دهقان منشادی
- ۵۲ بررسی تأثیر ارتفاع تونل در عملکرد هیدرودینامیکی شناور فوق سریع با استفاده از CFD / مهدی بابایی، حمیدرضا سهرابی، مهدی وهنانی، ابراهیم سلیمانی
- ۶۷ تأثیر آموزش شناورهای بادبانی در ارتقای مهارت‌های دریانوردان / مصطفی مسلمی، علیرضا راه‌چمنی
- ۸۸ مروری بر آخرین دستاوردهای علمی در حوزه شناورهای سطحی بدون سرنشین / فرهاد کیانی فلاورجانی
- ۱۱۵ الگوی نگارش مقاله /

بررسی وضعیت علمی و پیشرفت‌های اخیر در حوزه پروانه‌های

نیمه مغروق

فرهاد کیانی فلاورجانی

دانشجوی دکترا هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی مکانیک، اصفهان (شاهین شهر)

چکیده

پروانه نیمه مغروق یکی از اجزای کلیدی سیستم رانش در بسیاری از شناورها، به ویژه کشتی‌ها و قایق‌های بزرگ است. این نوع پروانه به گونه‌ای طراحی شده است که بخشی از آن در زیر سطح آب قرار گرفته و بخشی دیگر در هوا قرار دارد و به علت کاربرد زیاد در شناورهای سبک و شناورهای سرشی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پروانه‌های نیمه مغروق با توجه به پیشرفت‌های علمی و تکنولوژی‌های مدرن، توانسته‌اند بهبودهای چشم‌گیری در کارایی، پایداری و طول عمر به دست آورند. این پیشرفت‌ها شامل استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی، مواد پیشرفته و کنترل هوشمند بوده که همگی به بهبود عملکرد این پروانه‌ها در سرعت‌های بالا کمک کرده‌اند. هدف این پژوهش توسعه دانش فناوری‌های در حوزه پیشران‌های شناورهای تندرو مخصوصاً بررسی وضعیت تولیدات علمی در حوزه پروانه نیمه مغروق است. پژوهش حاضر از نوع مروری، کاربردی و داده‌کاوی است و در انجام آن از تکنیک‌های تحلیل پایگاه‌های داده علمی استفاده شده است. داده‌ها و کلیدواژه‌های مرتبط با پژوهش در فاصله بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳ با استفاده از پایگاه اطلاعاتی اسکوپوس جستجو و ارزیابی شدند. برای تحلیل داده‌ها و مصورسازی اطلاعات به دست آمده، از نرم‌افزار وی‌وی‌و^۱ استفاده شده است. جامعه آماری پژوهش ۷۰ سند علمی (شامل مقاله پژوهشی، مقاله کنفرانسی و فصل کتاب) در زمینه فناوری مرتبط و درگیر با پروانه نیمه مغروق بوده است. تحلیل‌ها شامل، میزان فراوانی انتشار بر حسب سال، کشورهای بیشترین اسناد منتشر کننده و تهیه نقشه ساختار دانشی در این حوزه بوده است. نتایج بررسی نشان می‌دهد فراوانی و روند انتشار اسناد علمی در حوزه پروانه نیمه مغروق به شدت در ارتقای سرعت و بهبود راندمان در شناورهای با اهمیت است، کشور ایران، چین و ایالات متحده بیشترین پژوهش‌ها را در این حوزه فناوری انجام داده‌اند.

واژه‌های کلیدی

شناورهای تندرو، پروانه نیمه مغروق، وضعیت توسعه علمی، مطالعات علم سنجی

Review of the Current Scientific Status and Recent Advances in the Field of Surface-Piercing Propellers (SPP)

Farhad Kiani

Malek Ashtar University of Technology; aerospace1362@gmail.com

Abstract

Surface-piercing propellers are part of modern marine propulsion systems that hold special significance due to their extensive application in lightweight and high-speed vessels. These propellers, benefiting from advancements in scientific and modern technologies, have achieved significant improvements in efficiency, stability, and lifespan. These advancements include the use of computational fluid dynamics (CFD), advanced materials, and intelligent control systems, all of which have contributed to enhancing the performance of these propellers at high speeds. The aim of this research is to expand the knowledge of technologies in the propulsion systems of high-speed vessels, with a particular focus on reviewing the scientific output related to surface-piercing propellers. This study is a practical review based on data mining, utilizing scientific database analysis techniques. Data and keywords relevant to the research were searched and evaluated using the Scopus database for the period between 2010 and 2023. For data analysis and visualization, the VosViewer software was used. The statistical population of the study included 70 articles related to technologies involving surface-piercing propellers. The analyses covered the frequency of

¹ VosViewer

publications by year, the countries with the most published documents, and the development of a knowledge structure map in this field. The results indicate that the frequency and trend of scientific publications in the field of surface-piercing propellers are crucial for improving speed and efficiency in vessels. Iran, China, and the United States have conducted the most research in this technological domain.

Keywords

High-speed boats, Surface-piercing propellers, scientific development status, scientific studies

۱. مقدمه

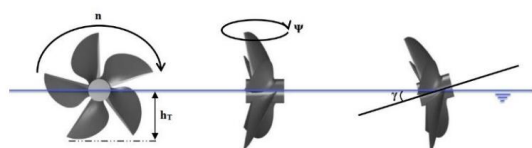
شناور سرشی یا شناور تندرو نوعی وسیله نقلیه دریایی است که با طراحی خاص خود قادر به حرکت با سرعت‌های بالا در سطح آب است. این نوع شناورها به دلیل طراحی هیدرودینامیکی و ویژگی‌های فنی خود، در کاربردهای نظامی، تجاری و تفریحی استفاده می‌شوند. سرعت این شناورها معمولاً بین ۳۰ تا ۷۰ گره دریایی (۵۵ تا ۱۳۰ کیلومتر بر ساعت) و گاهی بیشتر است. یکی از انواع مختلف سیستم‌های پیشران در این شناورها پروانه‌ی نیمه مغروق می‌باشد.

از مشخصات این نوع پروانه‌ها حرکت در دو محیط سیالی متفاوت است [1-3]. برای بررسی این نوع پروانه‌ها نیاز به در نظر گرفتن شرایط پیچیده‌ای از جمله فصل مشترک بین دو سیال آب و هوا می‌باشد. پارامتر کاویتاسیون که در پروانه‌های معمولی^۱ (کاملاً مغروق^۲) سبب کاهش تراست، افزایش گشتاور و همچنین ارتعاشات روی شفت و بدنه شناور می‌شود، در سیستم رانش پروانه نیمه مغروق با پدیده‌های جابجایی می‌شود [3-4]. سیستم رانش پروانه‌ای کاملاً مغروق در گستره وسیعی از شناورهای سطحی کوچک، سبک و حتی تناژ متوسط استفاده می‌شود. پروانه‌های نیمه‌مغروق معمولاً به صورتی نصب می‌شوند که بخشی از تیغه‌ها در آب و بخشی از آنها خارج از آب باشد [5-7]. این وضعیت به این پروانه‌ها اجازه می‌دهد تا از مزایای هر دو نوع پروانه‌های کاملاً غوطه‌ور و سطح‌شکاف (نیمه مغروق) بهره‌مند شوند. در این حالت، بخشی از پروانه که در آب است، نیروی جلوبرنده ایجاد می‌کند، در حالی که بخش دیگر با کاهش تماس با آب، از میزان درگ و کاویتاسیون جلوگیری می‌کند [8]. شناورهای مجهز به پروانه نیمه مغروق قابلیت حرکت در آب‌های کم عمق، عمیق و حتی آب‌های

گل آلود را دارا می‌باشند [9-11] [6]. دانش طراحی و تحلیل پروانه نیمه مغروق به علت مواجه شدن با پارامترهای هندسی و هیدرودینامیکی مختلف مانند پروفیل سطح مقطع پره، پدیده کاویتاسیون هواده‌ی، اثر سطح آزاد و جریان چندفازی بسیار پیچیده و سخت می‌باشد [11-14].

۱-۱- پارامترهای موثر در طراحی

ضرایب هیدرودینامیکی تراست، گشتاور و بازده یک پروانه به پارامترهای مختلفی وابسته است. در پروانه‌های مغروق این ضرایب به قطر (D)، گام (P)، تعداد پره (Z)، نسبت سطح گسترش‌یافته (EAR)، زاویه ریک^۳ (θ_r)، زاویه اسکيو^۴ (θ_s)، ضخامت پره (t)، نوع پروفیل مقطع (f) و اعداد بی بعد رینولدز (Re)، ضریب پیشروی^۵ (J)، عدد فرود (Fr) و کاویتاسیون^۶ (σ) وابسته هستند. با توجه به شرایط عملکردی پروانه نیمه مغروق و شکافتن سطح آب در هر دور چرخش، چهار پارامتر عدد وبر (We)، نسبت مغروقی^۷ (I)، زاویه انحراف شافت^۷ (γ) و زاویه یاء^۷ (Ψ)، نیز علاوه بر پارامترهای ذکر شده برای پروانه‌های مغروق رایج بر ضریب هیدرودینامیکی این دسته از پروانه‌ها تاثیرگذار خواهند بود. شکل ۱ نشان دهنده شرایط مختلف زاویه‌ای یک پروانه نیمه مغروق می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت مکانی یک پروانه نیمه مغروق در شرایط زاویه‌ای مختلف [6]

³ Rake angle

⁴ Skew angle

⁵ Advance ratio

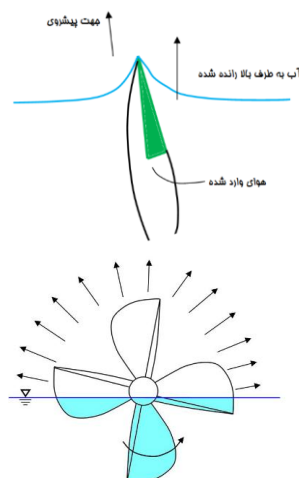
⁶ Immersion Ratio

⁷ Inclination shaft angle

¹ Conventional propellers

² Fully wetted

در هنگام برخورد پره پروانه نیمه مغروق پدیده‌هایی رخ می‌دهد که وقوع آن‌ها در این نوع پروانه‌ها نسبت به سایر پروانه‌های متداول بیشتر است. سطح بدنه شناورها در هنگام حرکت، آب را در هوا اسپری می‌کنند. پدیده تشکیل اسپری در نتیجه کاهش عدد وبر در پشت پره و ایجاد آب در هنگام خروج پروانه است [3-4].



شکل ۳- اسپری آب ناشی از نیروهای فشاری و اسپری آب به صورت شعاعی

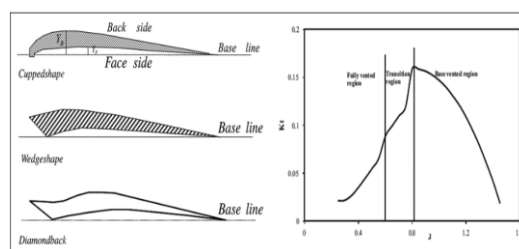
عدد رینولدز جریان آب در شرایط عملکرد در سرعت بالا از مرتبه میلیون است [23]. در این رینولدز تئوری لایه مرزی عدد رینولدز محلی پایینی را در سمت پرفشار پروانه در نزدیکی پره و هم چنین حباب‌هایی را در سمت مکش و تشکیل ناحیه‌ی لزج را پیش‌بینی می‌کند [24]. در هنگام حرکت رو بالای پره به سطح آب نیروهای ویسکوز مقداری از آب را اطراف پره نگه می‌دارند. پره می‌تواند ۷ تا ۱۲ درصد حجم آب را به اتمسفر خارج می‌کند [3-4]. در پروانه‌های کاملاً مغروق اگر فشار استاتیکی در نقطه‌ای درون میدان جریان از فشار بخار سیال در دمای مورد نظر کمتر شود، حباب‌های بخار در داخل جریان سیال تشکیل می‌گردد که به این پدیده کاویتاسیون گفته می‌شود [24-27]. حباب‌های تشکیل شده پس از رسیدن به نواحی پرفشار یا در نزدیکی دیواره‌های جامد متلاشی می‌شوند. در پروانه‌های نیمه مغروق به دلیل امکان دستیابی به اتمسفر در نواحی کم فشار علاوه بر پدیده کاویتاسیون پدیده هوادهی نیز رخ می‌دهد [3-4]. پدیده هوادهی بسیار مشابه پدیده کاویتاسیون است [15-17] در واقع پدیده هوادهی زمانی

در طراحی پروانه‌ی نیمه مغروق، برای رسیدن به شرط تراست مطلوب و قید حداقل گشتاور مجاز، با توجه به این که ضریب پیشروی ثابت است، باید توجه داشت که با تغییر کدام پارامتر، شرط تراست و گشتاور سریع‌تر ارضاء می‌شود. این پارامترها شامل زاویه‌ی اسکيو، نسبت گام به قطر، نسبت مغروقت، زاویه‌ی محور شفت و زاویه عرضی شفت (زاویه یاو) می‌باشند. برای این که بتوان شرایط را برای یک بررسی جامع فراهم نمود، دسترسی به داده‌های قابل اعتماد بسیار مهم است [15-17]. مهمترین مزایای پروانه نیمه مغروق را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود [18-22]:

- امکان افزایش قطر پروانه به اندازه دلخواه
- عدم محدودیت در احتمال وقوع پدیده کاویتاسیون و جایگزینی آن با پدیده هوادهی
- تغییر پروفیل سطح مقطع پره پروانه و امکان دسترسی به بازده بالا در سرعت‌های بالای شناور
- تغییر میزان غوطه‌وری پروانه و کاهش زاویه شفت شناور

۲. مفاهیم اساسی در پروانه نیمه مغروق

هندسه پروانه نیمه مغروق از نظر ظاهری متفاوت با هندسه پروانه‌های متداول است [1-3]. مقطع پره اغلب به گونه‌ای طراحی می‌شود که دارای لبه ابتدایی نوک تیز^۱ و لبه انتهایی^۲ یا لبه فرار ضخیم و پله‌دار^۳ است [2] [4]. لبه تیز ابتدایی با زاویه ورودی کم طراحی شده و توپی پروانه و ریشه پره در مقابل بارهای زیاد خارج از مرکز و تناوبی وارده مقاوم شده‌اند [7].

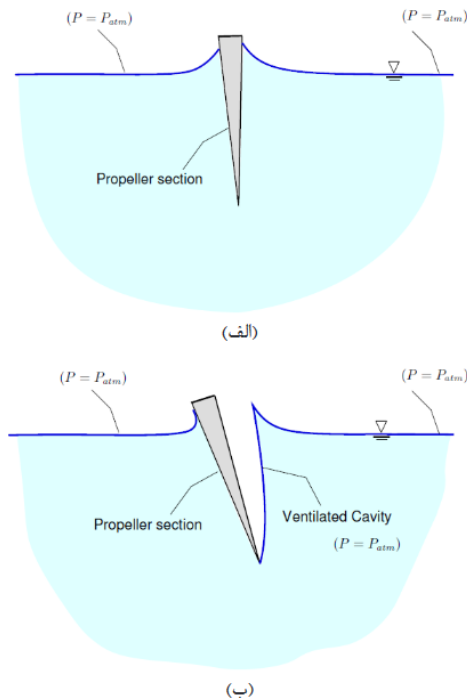


شکل ۲- سه نمونه از مقاطع پره پروانه نیمه مغروق [4]

¹ Leading Edge

² Trailing Edge

³ Stepped



شكل ٤-الف) رژيم هوادهي پايه ب) رژيم كاملا هوادهي شده

در ادامه به خصوصيات و ويژگيهاي بيشتري از اين نوع پروانهها مي پردازيم:

كاهش درگ: پروانههاي معمولي كه به صورت كامل در آب غوطه ور هستند، با مقاومت زيادي از سمت آب مواجه مي شوند اما در پروانههاي نيمه مغروق، تنها نيمي از تيغهها در آب قرار دارند و اين باعث كاهش اصطكاك بين پروانه و آب مي شود [28-30]. اين ويژگي به شناور اجازه مي دهد كه با توان كمترى به سرعتهاي بالا دست يابد و مصرف سوخت نيز بهينه تر شود [15] [31].

افزايش راندمان در سرعتهاي بالا: يكي از ويژگيهاي مهم اين پروانهها، عملکرد بهتر در سرعتهاي بالا است. در شناورهاي با سرعت بسيار زياد، پروانههاي معمولي ممكن است راندمان خود را از دست دهند يا به دليل كاويتاسيون با مشكلاتي مواجه شوند. پروانههاي نيمه مغروق با كاهش سطح تماس با آب و كاستن از پديده كاويتاسيون، مي توانند كارآمدي خود را حتي در سرعتهاي بسيار زياد حفظ كنند [32] [4].

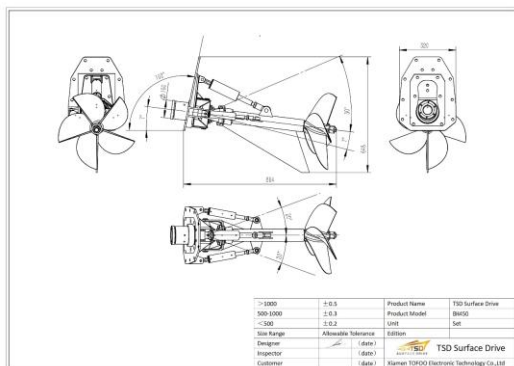
كاهش كاويتاسيون: كاويتاسيون به ايجاد حبابهاي كوچك و پر از گاز در پشت تيغههاي پروانه گفته مي شود كه مي تواند باعث كاهش راندمان و حتي آسيب به پروانه شود [33-35]. در پروانههاي نيمه مغروق، با توجه به اينكه تيغهها به صورت متناوب وارد آب مي شوند و از آن

اتفاق كه سطح هوا يا گازهاي خروجي روي سطح پره گسترده شده و امتداد يابند. بايد توجه نمود كه فشار روي سطح هوادهي ثابت است اما با فشار بخار متفاوت است. بنابراين سطح هوادهي شده مي تواند همانند سطح يك حباب، اما با فشاري متفاوت با فشار بخار، در نظر گرفته شود. با توجه به شرايط عملكردي پروانه نيمه مغروق سه نوع رژيم جرياني براي جريان آب ورودى به پرهى پروانه نيمه مغروق وجود دارد كه نوع رژيم بستگى به مقدار ضريب پيشروى دارد. اين ضريب به صورت زير تعريف مي شود [1] [15]:

$$J = \frac{V_0 \cos \gamma}{nD} \quad (1)$$

كه V_0 سرعت جريان ورودى به پروانه و بر حسب متر بر ثانيه و n سرعت دوراني (دور بر ثانيه) و D قطر پروانه و بر حسب ميلي متر مي باشد. زياد بودن ضريب پيشروى به معني عملکرد در نيروي كم و سرعت زياد است در حالي كه كم بودن ضريب پيشروى به معني عملکرد در نيروي زياد و سرعت پايين است. در ضرايب پيشروى بالا، جريان آب در سطح جلو و پشت پره بدون اينكه از سطح پره جدا شوند، روي سطح آن جريان مي يابند. همان طور كه در شكل ٤ مشاهده مي شود اين رژيم جرياني هوادهي پايه ناميده مي شود. اگر مقطه صفحه نازك تر باشد، قبل از لبه انتهائي در محل بيشتريين ضخامت در طول خط كورد هوادهي آغاز مي شود [3-4] [16]. در ضرايب پيشروى كم، حباب بخار در لبه ي جلوي پره قبل از رسيدن به انتهاي طول خط كورد تشكيل مي شود كه اين حالت را كاويتاسيون جزئي مي گويند [17]. در اين رژيم بازدهي كاهش مي يابد كه به علت تشكيل حباب تركيدن آن و ايجاد ناپايداري روي سطح پروانه است. زماني كه ضرايب پيشروى باز هم كاهش مي يابند، حباب ايجاد شده در لبه ي جلوي پره روي تمامي سطح پشتي پره گسترش مي يابد و در نهايت با رسيدن به سطح آزاد به اتمسفر ختم مي شود. اين رژيم كاملا هوادهي شده ناميده مي شود [3] [15].

نشان از بلوغ تکنولوژی آن دارد. شکل ۵ سه‌نمای این پروانه را نمایش می‌دهد.



شکل ۵- شماتیکی از سه نما پروانه نیمه مغروق نمونه BH450

ویژگی‌های طراحی این پروانه نیمه مغروق شامل موارد زیر است:

ساختار مقاوم و با دوام:

- پروانه‌های BH450 از جنس فولاد ضدزنگ 316L ساخته شده‌اند که مقاومت بالایی در برابر خوردگی و شرایط سخت دریایی دارند.
- تیغه‌های پروانه به صورت دوطرفه طراحی شده‌اند که از استحکام و سختی بالایی برخوردارند و در برابر فشارهای مکانیکی مقاومت می‌کنند.

سیستم هیدرولیک و هدایت:

- سیستم هیدرولیک دوتایی برای بلند کردن و هدایت پروانه‌ها به کار رفته است که امکان تنظیم دقیق عمق غوطه‌وری پروانه در حین حرکت را فراهم می‌کند.
- سیستم هدایت و شاخص‌ها و سنسورهای پیشرفته، کنترل بهینه پروانه را تضمین می‌کنند.

طراحی قابل تنظیم:

- پروانه‌های BH450 دارای سیستم‌های نیمه‌غوطه‌ور قابل تنظیم (قابل حرکت و ثابت) هستند که امکان تنظیم عمق غوطه‌وری پروانه را در شرایط مختلف فراهم می‌آورد.
- طراحی اتصالات گلدانی یونیورسال، نصب و تعویض پروانه‌ها را ساده‌تر می‌کند.

افزایش سرعت و کارایی سوخت:

خارج می‌شوند، تشکیل این حباب‌ها کمتر اتفاق می‌افتد و پروانه با کاهش پدیده کاویتاسیون روبرو است [36].

طراحی خاص تیغه‌ها: تیغه‌های این پروانه‌ها دارای طراحی خاصی هستند تا هنگام ورود و خروج از آب کمترین لرزش و شوک را به شناور منتقل کنند. این طراحی معمولاً شامل لبه‌های تیزتر و هندسه‌های منحنی‌تری است تا به راحتی از سطح آب خارج شوند و وارد آب شوند بدون اینکه راندمان کاهش یابد [37-40].

نیاز به تنظیم دقیق: یکی از چالش‌های اصلی استفاده از پروانه‌های نیمه مغروق، نیاز به تنظیم دقیق موقعیت و زاویه پروانه نسبت به سطح آب است [33]. اگر زاویه درست نباشد پروانه نمی‌تواند به درستی از پتانسیل خود استفاده کند و راندمان آن کاهش می‌یابد. برای رسیدن به بهترین کارایی، معمولاً از سیستم‌های کنترل‌کننده اتوماتیک برای تنظیم زاویه پروانه در حین حرکت شناور استفاده می‌شود [34].

۳. بررسی یک نمونه پروانه نیمه مغروق

پروانه نیمه‌مغروق BH450 یک سیستم پیشرفته محرکه دریایی است که برای قایق‌های پرسرعت طراحی شده است و توسط شرکت Tofoo Electronics Engineering توسعه یافته است. این سیستم تحت آزمایش‌های میدانی در قایق‌های پرسرعت در چانگشا چین مورد استفاده قرار گرفته و سرعتی تا ۷۸.۹ کیلومتر بر ساعت را به ثبت رسانده است. ویژگی‌های فنی این پروانه شامل موارد زیر است:

- قطر تیغه: ۴۵۰/۴۰۰ میلی‌متر
- قدرت تطبیقی: ۸۰-۱۳۰ اسب بخار
- گشتاور ورودی: ۵۰۰ نیوتون متر
- وزن هر دستگاه: ۶۰ کیلوگرم
- وزن کشتی مناسب برای نصب تک‌محوره: ۱.۲ تن و برای نصب دومحوره ۲.۵ تن
- دارای ۴، ۵ یا ۶ تیغه
- سرعت ورودی موتور اصلی: ۱۰۰۰-۲۵۰۰ دور در دقیقه

این سیستم محرکه نیمه‌مغروق برای قایق‌های پرسرعت طراحی شده و از لحاظ ایمنی، کارایی و صرفه‌جویی در هزینه، عملکرد بالایی دارد. همچنین این تکنولوژی دارای چندین اختراع ثبت شده و مدل‌های کاربردی است که

- پروانه BH450 نسبت به سیستم‌های سنتی تا ۱۵ تا ۳۰ درصد سریع‌تر عمل می‌کند.
- مصرف سوخت نیز به میزان ۱۵ تا ۳۰ درصد بهینه‌تر شده است که موجب کاهش هزینه‌های عملیاتی می‌شود.

کاهش نویز و فرسایش:

- هوادهی پروانه به سطح آب، میزان نویز تولیدی را کاهش داده و از فرسایش بدنه کشتی جلوگیری می‌کند.
- این ویژگی به ویژه در سرعت‌های بالا اهمیت دارد و موجب افزایش عمر مفید کشتی می‌شود.
- **کاهش مقاومت آب و افزایش پایداری:**
- قرارگیری پروانه در سطح آب باعث کاهش درگ و مقاومت کلی کشتی می‌شود.
- طراحی شیب‌دار پروانه‌ها به افزایش پایداری کشتی در شرایط آب و هوایی مختلف کمک می‌کند.
- امکان تنظیم عمق غوطه‌وری پروانه در حین حرکت، انعطاف‌پذیری بیشتری را فراهم می‌کند.

پروانه نیمه‌غوطه‌ور BH450 با قدرت ۱۳۰ اسب بخار، یکی از بهترین گزینه‌ها برای کشتی‌ها و قایق‌های سرعت بالا است که به دنبال افزایش سرعت، کارایی سوخت و کاهش هزینه‌های عملیاتی هستند. طراحی پیشرفته و ویژگی‌های منحصر به فرد این پروانه، آن را به یک انتخاب ایده‌آل برای کاربردهای حرفه‌ای و تفریحی تبدیل کرده است.

۴. محصولات و فناوری‌های شرکت‌های پیشرو در حوزه پروانه‌های نیمه مغروق

شرکت‌های بزرگ در صنعت دریانوردی در توسعه پروانه‌های نیمه مغروق پیشگام بوده‌اند و از فناوری‌های پیشرفته برای افزایش کارایی، کاهش هزینه‌ها و بهبود پایداری زیست‌محیطی استفاده می‌کنند. در این بخش به محصولات و فناوری‌های برجسته‌ای که توسط این شرکت‌ها ارائه شده‌اند، ارایه می‌گردد:

▪ شرکت رولز-رویس^۱

محصولات: پروانه‌های نیمه مغروق تندرو

- ✓ طراحی شده برای شناورهای تندرو و قایق‌های مسابقه‌ای.
- ✓ استفاده از تیغه‌های آیرودینامیک با کاهش نویز و افزایش راندمان در سرعت‌های بالا.

فناوری‌ها:

- ✓ **چاپ سه‌بعدی:** رولز-رویس از فناوری چاپ سه‌بعدی برای تولید تیغه‌های پروانه استفاده می‌کند که امکان طراحی پیچیده‌تر و سبک‌تر را فراهم می‌سازد.
- ✓ **مواد پیشرفته:** استفاده از آلیاژهای تیتانیوم و آلومینیوم برای کاهش وزن و افزایش مقاومت در برابر خوردگی.

- ✓ **شبیه‌سازی پیشرفته:** این شرکت از نرم‌افزارهای CFD برای طراحی و تحلیل عملکرد پروانه‌ها بهره می‌برد.

▪ شرکت وارتسیلا^۲

محصولات: پروانه‌های: Silent-X پروانه‌هایی با طراحی خاص برای کاهش نویز زیرآبی و مناسب برای شناورهای تحقیقاتی و نظامی.

- ✓ **سیستم‌های ترکیبی رانش:** ترکیب پروانه‌های نیمه مغروق با رانشگرهای الکتریکی برای بهبود مصرف انرژی و کاهش آلودگی.

فناوری‌ها:

- ✓ **سیستم‌های هوشمند کنترل:** پروانه‌های این شرکت به سامانه‌های هوشمندی مجهز هستند که سرعت و زاویه تیغه‌ها را بر اساس شرایط عملیاتی تنظیم می‌کنند.

- ✓ **پوشش‌های ضد کاویتاسیون:** استفاده از پوشش‌های پیشرفته که اثرات ناشی از کاویتاسیون را کاهش داده و عمر مفید پروانه‌ها را افزایش می‌دهند.

- ✓ **پلتفرم‌های دیجیتال:** وارتسیلا از فناوری دوقلوی دیجیتال برای مدل‌سازی و پیش‌بینی عملکرد پروانه‌ها در شرایط مختلف استفاده می‌کند.

▪ شرکت ABB Marine & Ports

^۲ Wärtsilä

^۱ Rolls-Royce

✓ **کنترل هوشمند رانش:** تجهیز پروانه‌ها به حسگرهایی برای اندازه‌گیری فشار و سرعت آب و تنظیم عملکرد بلادرنگ.

✓ **مواد زیست‌سازگار:** استفاده از مواد قابل بازیافت برای تولید پروانه‌ها به منظور کاهش اثرات زیست‌محیطی.

جدول ۱- مقایسه شرکت‌ها و فناوری‌ها

ویژگی‌ها	محصول برجسته	فناوری کلیدی	شرکت
طراحی سبک و مقاوم برای عملکرد در سرعت‌های بالا	پروانه‌های نیمه مغروق تندرو	چاپ سه‌بعدی و مواد پیشرفته	Rolls-Royce
کاهش نویز و کاپیتاسیون برای شناورهای تحقیقاتی	Silent-X	کنترل هوشمند و کاهش نویز	Wärtsilä
کاهش مصرف انرژی و آلایندگی	رانشگرهای هیبریدی	هوشمندسازی و مدیریت انرژی	ABB Marine
مناسب برای شناورهای نظامی و تجاری کوچک	رانشگرهای شفت‌دار	آبرودینامیک پیشرفته	Kongsberg Maritime
سازگار با محیط زیست و انعطاف‌پذیر در تنظیم زاویه تیغه‌ها	پروانه‌های الکتریکی	مواد زیست‌سازگار و تنظیم بلادرنگ	Schottel

شرکت‌های پیشرو در حوزه پروانه‌های نیمه مغروق از فناوری‌هایی مانند چاپ سه‌بعدی، هوش مصنوعی، کنترل هوشمند و مواد پیشرفته استفاده می‌کنند تا راندمان را افزایش دهند و تأثیرات زیست‌محیطی را کاهش دهند. این شرکت‌ها به‌طور مداوم در حال توسعه محصولاتی هستند که با نیازهای مدرن صنعت دریانوردی هماهنگ باشند.

۵. آخرین پیشرفت‌ها و دستاوردهای علمی در

حوزه پروانه‌های نیمه مغروق

پروانه نیمه مغروق به عنوان نوع خاصی از پروانه‌های سوپرکاپیتاسیونی اغلب به عنوان سیستم‌های رانشی با

محصولات: رانشگرهای هیبریدی نیمه مغروق، ترکیب پروانه‌های نیمه مغروق با موتورهای الکتریکی برای شناورهای سبز و کم‌مصرف.

✓ **سیستم رانش Azipod:** سیستم رانشی که انعطاف‌پذیری بالایی دارد و با استفاده از پروانه‌های نیمه مغروق کار می‌کند.

فناوری‌ها:

✓ **هوشمندسازی سیستم‌های رانش:** توسعه الگوریتم‌های یادگیری ماشینی برای بهینه‌سازی عملکرد پروانه‌ها و کاهش مصرف سوخت.

✓ **مدیریت انرژی:** یکپارچه‌سازی پروانه‌ها با سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی (باتری) برای کاهش آلایندگی.

✓ **مواد نانوکامپوزیتی:** بهبود کارایی و کاهش وزن تیغه‌ها با استفاده از نانوکامپوزیت‌ها.

▪ شرکت Kongsberg Maritime

محصولات: پروانه‌های کم‌مصرف برای شناورهای تندرو (طراحی شده برای کاهش مصرف سوخت و افزایش راندمان در شرایط عملیاتی متنوع).

✓ **رانشگرهای شفت‌دار نیمه مغروق:** مناسب برای شناورهای نظامی و تجاری کوچک.

فناوری‌ها:

✓ **طراحی آبرودینامیک بهینه:** استفاده از ابزارهای CAD پیشرفته برای طراحی پروانه‌هایی با کمترین مقاومت هیدرودینامیکی.

✓ **سیستم‌های کاهش نویز:** فناوری‌هایی برای کاهش اثرات زیست‌محیطی و نویز زیرآبی، به‌ویژه برای شناورهای گشتی.

▪ شرکت Schottel

محصولات: پروانه‌های الکتریکی نیمه مغروق (ترکیب موتورهای الکتریکی با پروانه‌های نیمه مغروق برای استفاده در کشتی‌های سبز)

✓ **رانشگرهای قابل تنظیم:** پروانه‌هایی که زاویه تیغه‌ها در آن‌ها متناسب با سرعت و بار شناور قابل تغییر است.

فناوری‌ها:

بالاترین بازده برای شناورهای تندرو شناخته می‌شوند [1]. از جمله مهمترین مزایای پروانه‌های نیمه مغروق نسبت به پروانه‌های مغروق می‌توان به دستیابی به سرعت‌های بالاتر، افزایش بازده سیستم رانش، کاهش نویز و ارتعاشات، امکان طراحی در ابعاد بزرگتر به دلیل عدم وجود محدودیت در فاصله نوک پره تا بدنه یا بیشینه آب‌خور و همچنین کاهش خوردگی سایشی سطح پره‌ها به دلیل کاهش و یا فقدان پدیده مخرب کاویتاسیون اشاره کرد [3, 7, 15]. علاوه بر این پروانه‌های نیمه مغروق سبب کاهش قابل توجه در مقاومت شناور می‌شوند. بنابراین قدرت مورد نیاز برای رانش شناورهایی با این نوع پروانه نسبت به شناورهای دارای پروانه‌های معمولی، کاهش قابل توجهی دارد. با این حال، به علت کارکرد پروانه‌های نیمه مغروق در شرایط دو فازی [4]، در یک سیکل دورانی، هر پره یک بار به سطح آب برخورد می‌کند که در نتیجه آن نیروی پیش‌رانش و گشتاور یک پره از صفر به مقدار بیشینه و مجدداً به صفر می‌رسد [12] و این باعث نوسانی شدن نیروی پیش‌رانش و گشتاور در پروانه‌های نیمه مغروق می‌شود [14]. علی‌رغم آن که بیش از یک قرن از شروع استفاده از پروانه‌های دریایی برای رانش شناورها می‌گذرد، تحقیق و بررسی بر روی عملکرد آن‌ها یک موضوع بسیار مهم بشمار می‌آید بطوریکه امروزه باتوجه به کاربرد گسترده پروانه‌های نیمه مغروق در محدوده وسیعی از شناورها، دانشمندان سرگرم انجام تحقیقات و مطالعات تجربی و عددی در خصوص این نوع پروانه‌ها هستند [34-39].

پروانه‌های نیمه مغروق نقش بسیار مهمی در عملکرد کشتی‌ها و وسایل نقلیه دریایی با سرعت بالا دارند. به دلیل اینکه بخشی از پروانه در آب و بخش دیگر در هوا قرار می‌گیرد، این نوع پروانه‌ها ویژگی‌های منحصربه‌فردی مانند کاهش مقاومت در برابر آب و افزایش راندمان در سرعت‌های بالا را ارائه می‌دهند. با این حال، طراحی و بهینه‌سازی آن‌ها به دلیل چالش‌هایی مانند کاویتاسیون، لرزش، و فرسایش نیازمند تحقیق و نوآوری‌های علمی است. در ادامه برخی از جدیدترین دستاوردهای علمی و تحقیقاتی در این زمینه با جزئیات بیشتری توضیح داده می‌شوند:

۵-۱- شبیه‌سازی پیشرفته برای بررسی جریان‌های سیال

Unsteady Reynolds-Averaged Navier-Stokes (URANS) یا شبیه‌سازی RANS ناپایا یک روش شبیه‌سازی پیشرفته برای بررسی جریان‌های سیال در اطراف اجسام متحرک، مانند پروانه‌های نیمه مغروق است [39]. در این روش، ناپایداری‌های زمانی جریان سیال و تأثیرات دینامیکی آن‌ها بر روی عملکرد پروانه به دقت شبیه‌سازی می‌شود URANS به‌ویژه در مسائل پیچیده‌ای که جریان سیال دارای تغییرات زمانی و نوسانات دینامیکی است، بسیار کاربرد دارد. پروانه‌های نیمه مغروق به دلیل تعامل هم‌زمان با آب و هوا، جریان‌های بسیار پیچیده و ناپایداری ایجاد می‌کنند. تیغه‌های پروانه به صورت متناوب از آب خارج شده و دوباره به داخل آن وارد می‌شوند. این تعاملات باعث ایجاد جریان‌های غیرپایا می‌شود که به‌طور مستقیم بر عملکرد هیدرودینامیکی پروانه و همچنین ایجاد کاویتاسیون و جریان‌های گردابی تأثیر می‌گذارد. استفاده از URANS برای شبیه‌سازی این نوع جریان‌ها به طراحی بهینه‌تر و پیش‌بینی دقیق‌تر عملکرد پروانه کمک می‌کند. مزایای استفاده از URANS در شبیه‌سازی پروانه‌های نیمه مغروق شامل موارد زیر است [36-39]:

- **دقت بالاتر در شبیه‌سازی جریان‌های ناپایا:** URANS قادر است رفتار ناپایدار جریان‌ها را به‌صورت دقیق‌تری نسبت به مدل‌های پایا شبیه‌سازی کند. این امر برای پروانه‌های نیمه مغروق که در معرض نوسانات شدید جریان هستند، بسیار مهم است.
- **پیش‌بینی بهتر عملکرد دینامیکی پروانه:** شبیه‌سازی ناپایداری‌های زمانی، URANS به طراحان امکان می‌دهد تا عملکرد دینامیکی پروانه را در شرایط واقعی دریایی بهتر پیش‌بینی کنند. این شامل بررسی نوسانات فشار، سرعت و نیروهای وارد بر تیغه‌های پروانه است.
- **کاهش خطای شبیه‌سازی در شرایط بحرانی:** در شبیه‌سازی پروانه‌های نیمه مغروق با سرعت بالا، جریان‌های غیرپایا و نوسانات دینامیکی می‌توانند باعث بروز مشکلاتی مانند کاویتاسیون و گرداب‌های غیرخطی شوند. URANS به دلیل توانایی در مدل‌سازی

این ناپایداری‌ها، به کاهش خطاهای شبیه‌سازی در شرایط بحرانی کمک می‌کند.

چالش‌ها و محدودیت‌های URANS در شبیه‌سازی پروانه‌های نیمه مغروق شامل موارد زیر است [37]:

- **هزینه محاسباتی بالا:** شبیه‌سازی URANS به دلیل حل معادلات ناپایا و نیاز به دقت بالا، به توان محاسباتی بسیار بیشتری نسبت به مدل‌های RANS پایا نیاز دارد. این می‌تواند زمان و هزینه‌های محاسباتی را به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد.

- **پیچیدگی در مدل‌سازی شرایط مرزی:** در URANS، مدل‌سازی دقیق شرایط مرزی (مانند مرزهای سطحی بین آب و هوا) بسیار پیچیده‌تر از مدل‌های پایا است. این پیچیدگی ممکن است نیاز به تکنیک‌های پیشرفته‌تری برای تنظیم شرایط مرزی داشته باشد.

- **نیاز به مدل‌های توربولانسی دقیق‌تر:** مدل‌های توربولانسی که در URANS استفاده می‌شوند، باید قادر به مدل‌سازی نوسانات زمانی جریان‌های آشسته باشند. مدل‌های توربولانسی استاندارد ممکن است برای این نوع شبیه‌سازی کافی نباشند و نیاز به مدل‌های پیچیده‌تری مانند SST^۱ یا $k-\omega$ وجود دارد.

نوآوری‌ها

- **مدل‌سازی ناپایداری‌های جریان:** در شبیه‌سازی URANS، معادلات Navier-Stokes برای مدل‌سازی حرکت سیال به کار می‌روند، اما این معادلات به گونه‌ای حل می‌شوند که نوسانات زمانی در سرعت و فشار سیال به صورت میانگین‌گیری شده (RANS) به همراه نوسانات ناپایا در نظر گرفته شوند. در پروانه‌های نیمه مغروق، جریان‌های سیال تحت تأثیر تغییرات مداوم سرعت، ورود و خروج پروانه از آب، و تعامل با سطح آب و هوا قرار دارند [38]. URANS این ناپایداری‌ها را مدل‌سازی می‌کند و به محققان اجازه می‌دهد رفتار واقعی پروانه در این شرایط پیچیده را بررسی کنند [39].

- **مدل‌سازی جریان‌های دو فاز (آب و هوا):** پروانه‌های نیمه مغروق با جریان‌های دو فاز مواجه هستند؛ یعنی هم‌زمان در دو محیط آب و هوا کار

می‌کنند. URANS با استفاده از مدل‌های دو فاز، مانند مدل‌های VOF^۲، رفتار جریان‌های دو فاز را شبیه‌سازی می‌کند. این شبیه‌سازی‌ها می‌توانند تغییرات در فشار و سرعت جریان‌های دو فاز را به صورت ناپایا در اطراف پروانه نشان دهند [39].

- **بررسی اثرات کاویتاسیون:** یکی از مسائل مهم در پروانه‌های نیمه مغروق، کاویتاسیون است که در اثر تغییرات شدید فشار در پشت تیغه‌های پروانه رخ می‌دهد. URANS قادر است این پدیده را به خوبی مدل‌سازی کند، زیرا معادلات RANS ناپایا به گونه‌ای حل می‌شوند که تأثیرات کاویتاسیون را با دقت بیشتری در نواحی با تغییرات شدید فشار نشان دهند. این به طراحان کمک می‌کند تا تیغه‌های پروانه را به گونه‌ای طراحی کنند که کاویتاسیون و اثرات فرسایش ناشی از آن به حداقل برسد [39].

- **تعامل پروانه با سطح آب:** پروانه‌های نیمه مغروق به طور مداوم با سطح آب در تعامل هستند و تیغه‌های آن‌ها به صورت متناوب وارد آب می‌شوند و از آن خارج می‌شوند. این تعامل باعث ایجاد پدیده‌هایی مانند گرداب‌های سطحی و امواج سطحی می‌شود که عملکرد پروانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. URANS این تعاملات پیچیده را با دقت بیشتری نسبت به مدل‌های RANS پایا (Steady RANS) شبیه‌سازی می‌کند و به پیش‌بینی رفتار پروانه در شرایط واقعی کمک می‌کند.

- **مدل‌سازی اثرات نوسانات سرعت و زاویه حمله:** نوسانات سرعت و زاویه حمله تیغه‌های پروانه در اثر ورود و خروج مداوم آن‌ها از آب ایجاد می‌شود. این نوسانات به طور مستقیم بر نیروهای آیرودینامیکی و هیدرودینامیکی وارد بر پروانه تأثیر می‌گذارد. URANS به دلیل توانایی در حل ناپایداری‌های زمانی، می‌تواند تغییرات لحظه‌ای در نیروهای وارد بر پروانه و تأثیرات آن‌ها بر کارایی کلی پروانه را مدل‌سازی کند.

استفاده از شبیه‌سازی Unsteady RANS یا URANS در طراحی و بهینه‌سازی پروانه‌های نیمه مغروق ابزار بسیار قدرتمندی برای بررسی رفتار جریان‌های ناپایدار و پیچیده اطراف این پروانه‌ها است. این روش به محققان و مهندسان کمک می‌کند تا پدیده‌هایی مانند کاویتاسیون،

^۲ Volume of Fluid

^۱ Shear Stress Transport

ناپایداری‌های جریان، و تعامل با سطح آب و هوا را به‌طور دقیق‌تری مدل‌سازی کرده و به طراحی پروانه‌های کارآمدتر و بهینه‌تر دست یابند [40].

۵-۲- بهینه‌سازی طراحی با استفاده از CFD (دینامیک سیالات محاسباتی)

یکی از مهم‌ترین دستاوردهای اخیر در زمینه پروانه‌های نیمه مغروق، استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی برای بهینه‌سازی طراحی پروانه است. این روش به محققان امکان می‌دهد تا جریان آب و هوا را به‌طور دقیق مدل‌سازی کرده و عملکرد پروانه را در شرایط مختلف پیش‌بینی کنند. با CFD می‌توان اثرات کاویتاسیون، فشار و سرعت جریان آب روی پروانه را بررسی کرد و تغییرات لازم را در شکل و زاویه تیغه‌های پروانه اعمال نمود [33]. نرم‌افزارهای پیشرفته CFD مانند ANSYS Fluent و OpenFOAM به‌طور گسترده برای این هدف مورد استفاده قرار می‌گیرند [32-35].

نوآوری‌ها:

- **بهبود شکل تیغه‌ها:** مطالعات نشان داده‌اند که اصلاح جزئی در انحنای تیغه‌ها و زاویه حمله آن‌ها می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی کاویتاسیون را کاهش داده و کارایی کلی پروانه را افزایش دهد.
- **شبیه‌سازی اثرات شرایط محیطی:** یکی دیگر از کاربردهای CFD شبیه‌سازی شرایط محیطی مانند امواج، باد و جریان‌های متقاطع است که می‌تواند عملکرد پروانه را تحت تأثیر قرار دهد. این شبیه‌سازی‌ها به طراحی پروانه‌هایی منجر شده که در شرایط محیطی چالش‌برانگیز پایداری بهتری دارند.
- **تحلیل الگوی جریان دو فازی (آب و هوا):** پروانه‌های نیمه مغروق هم‌زمان در دو محیط آب و هوا کار می‌کنند. شبیه‌سازی این شرایط پیچیده نیاز به استفاده از مدل‌های دو فازی دقیق دارد تا اثرات نیروی برشی بین آب و هوا و اثرات فشار بر روی تیغه‌های پروانه به‌خوبی مدل‌سازی شود.
- **تحلیل غیرخطی نیروها:** هنگام کار پروانه‌های نیمه مغروق، نیروهای هیدرودینامیکی غیرخطی ناشی از ترکیب نیروهای هیدرولیکی و آیرودینامیکی ایجاد می‌شود. CFD این امکان را می‌دهد که تأثیر این نیروها

در طراحی تیغه‌ها و زاویه حمله پروانه به‌خوبی بررسی و بهینه‌سازی شود.

- **کاهش جریان‌های گردابی:** CFD کمک می‌کند تا نواحی ایجاد گرداب و تلفات انرژی را در پشت پروانه شناسایی کرده و با تغییر شکل تیغه‌ها، جریان گردابی را به حداقل برساند. این به کاهش مقاومت هیدرودینامیکی و افزایش راندمان کمک می‌کند [1].

۵-۳- مواد پیشرفته برای ساخت پروانه

استفاده از مواد جدید و پیشرفته یکی از دیگر حوزه‌های تحقیقاتی فعال در ساخت پروانه‌های نیمه مغروق است. به دلیل سرعت بالای چرخش پروانه و تماس مداوم آن با آب و هوا، پروانه‌ها باید دارای استحکام بالا، مقاومت به خوردگی و سبک وزن باشند. در سال‌های اخیر، استفاده از مواد کامپوزیتی و آلیاژهای فلزی با تکنولوژی‌های پیشرفته بهبود یافته است. با استفاده از مواد پیشرفته، مانند الیاف کربن و آلیاژهای سبک‌وزن، عملکرد پروانه‌های نیمه مغروق بهبود چشم‌گیری پیدا کرده است. این مواد علاوه بر سبک‌سازی پروانه، استحکام بیشتری در برابر تنش‌ها و فشارهای بالا ایجاد می‌کنند و از خستگی مواد جلوگیری می‌کنند [49-50].

نوآوری‌ها:

- **الیاف کربن:** این ماده به دلیل نسبت بسیار بالای استحکام به وزن و مقاومت بالا در برابر خوردگی، به‌عنوان یکی از بهترین گزینه‌ها برای ساخت پروانه‌های سبک و کارآمد در سرعت‌های بالا به کار گرفته شده است.
- **آلیاژهای تیتانیوم:** این آلیاژها دارای خواص مکانیکی عالی و مقاومت به خوردگی بوده و می‌توانند پروانه‌های نیمه مغروق را برای استفاده در شرایط سخت دریایی بسیار مقاوم کنند.
- **کامپوزیت‌های تقویت‌شده با الیاف:** کامپوزیت‌های چندلایه تقویت‌شده با الیاف کربن یا شیشه وزن را کاهش داده و مقاومت مکانیکی بالایی دارند. این مواد علاوه بر کاهش وزن پروانه، به بهبود تحمل در برابر نیروهای پیچشی و خمشی دینامیکی کمک می‌کنند که در سرعت‌های بالا بسیار مهم است.
- **آلیاژهای تیتانیوم و نیکل:** این آلیاژها به دلیل مقاومت بالایشان در برابر خوردگی دریایی و

مقاومت مکانیکی در شرایط دما و فشار بالا، مورد توجه قرار گرفته‌اند. استفاده از این مواد به طول عمر بیشتر پروانه و کاهش هزینه‌های نگهداری منجر شده است [49].

۵-۴- پایداری هیدرودینامیکی و کاهش ارتعاشات

پایداری هیدرودینامیکی یکی از چالش‌های بزرگ در پروانه‌های نیمه مغروق است، چرا که بخشی از پروانه در هوا و بخشی دیگر در آب کار می‌کند. این شرایط باعث ایجاد ناپایداری‌ها و ارتعاشات ناخواسته می‌شود. تحقیقات اخیر به سمت طراحی‌هایی رفته‌اند که این ناپایداری‌ها را به حداقل برساند. یکی از چالش‌های اساسی در پروانه‌های نیمه مغروق، برخورد هم‌زمان با محیط‌های مختلف آب و هوا و تغییرات دینامیکی سریع است [34]. برای کاهش ناپایداری‌ها، از تکنیک‌های طراحی پیشرفته و شبیه‌سازی‌های پیچیده استفاده می‌شود تا پایداری حرکتی و عملکرد پروانه بهینه شود.

نوآوری‌ها:

- **طراحی تیغه‌های جدید:** تغییرات در شکل و زاویه تیغه‌ها به‌طور قابل توجهی ارتعاشات ناشی از تماس مداوم پروانه با آب و هوا را کاهش داده است. تیغه‌های خمیده و پروفیل‌های نامتقارن می‌توانند با توزیع بهتر نیروی هیدرودینامیکی، پایداری بهتری فراهم کنند.

- **مدل‌سازی ناپایداری‌ها:** با استفاده از ابزارهای مدل‌سازی هیدرودینامیک، محققان قادر به پیش‌بینی و بهینه‌سازی رفتار پروانه‌ها در سرعت‌های بالا و جلوگیری از ناپایداری‌های دینامیکی بوده‌اند.

- **طراحی تیغه‌های نامتقارن:** تیغه‌های پروانه به شکلی طراحی می‌شوند که بتوانند تغییرات در شرایط محیطی را جبران کنند. تیغه‌های نامتقارن می‌توانند نیروهای ناشی از چرخش پروانه در آب و هوا را متعادل کرده و لرزش‌های دینامیکی را کاهش دهند.

- **پروفیل‌های خاص تیغه‌ها:** تغییر در پروفیل تیغه‌ها باعث می‌شود که نوسانات نیروهای هیدرودینامیکی به حداقل برسند. تحقیقات جدید نشان داده‌اند که استفاده از پروفیل‌های چندمنظوره، علاوه بر بهبود کارایی، باعث کاهش تولید گرداب‌ها و جریان‌های ناخواسته نیز می‌شود.

- **تحلیل حرکت در شرایط نامتعادل:**

شبیه‌سازی شرایط دینامیکی و سرعت‌های بالا نشان داده که می‌توان با طراحی‌های دقیق و متغیرهای کنترلی، حرکت پروانه را در شرایط ناهموار مانند امواج بلند یا جریان‌های مخالف بهبود بخشید.

۵-۵- مدیریت کاویتاسیون

کاویتاسیون یکی از بزرگترین چالش‌های پروانه‌های نیمه مغروق است. کاویتاسیون باعث ایجاد حباب‌های گاز در پشت تیغه‌های پروانه می‌شود که می‌تواند به کاهش راندمان و فرسایش تیغه‌ها منجر شود. کاویتاسیون یکی از مشکلات بزرگ در پروانه‌های نیمه مغروق است که باعث کاهش کارایی و افزایش فرسایش می‌شود. برای کاهش این پدیده، تحقیقات به سمت بهبود طراحی تیغه‌ها و استفاده از روش‌های پیشرفته برای کنترل جریان‌های ناخواسته متمرکز شده است. در تحقیقات جدید، تلاش‌های بسیاری برای کاهش این پدیده از طریق طراحی و مواد بهتر انجام شده است [15-18].

نوآوری‌ها:

- **تغییر شکل تیغه‌ها:** بهبود طراحی تیغه‌ها به کاهش نواحی با فشار پایین کمک می‌کند که می‌تواند میزان کاویتاسیون را به حداقل برساند [22]. طراحی‌های جدید شامل تیغه‌های با پروفیل‌های نازک‌تر و استفاده از انحنای خاص است که باعث کاهش ایجاد حباب‌های کاویتاسیون می‌شود.

- **مطالعه شرایط محیطی:** تغییرات دما، فشار و خواص فیزیکی آب می‌تواند تاثیر زیادی بر کاویتاسیون داشته باشد. تحقیقات جدید به بررسی این اثرات پرداخته و راهکارهایی برای مقابله با آن در شرایط محیطی مختلف پیشنهاد داده‌اند [26].

- **طراحی تیغه‌های ضد کاویتاسیون:** تغییرات در شکل و انحنای تیغه‌ها می‌تواند به کاهش نواحی با فشار پایین و جلوگیری از ایجاد کاویتاسیون کمک کند. تیغه‌های ضد کاویتاسیون دارای لبه‌های منحنی و صیقلی هستند که جریان آب را بهتر هدایت می‌کنند و از ایجاد حباب‌های هوا جلوگیری می‌کنند.

- **پوشش‌های ضد کاویتاسیون:** استفاده از پوشش‌های نانوتکنولوژی و مواد مقاوم به فرسایش، برای کاهش اثرات فرسایشی کاویتاسیون روی تیغه‌های پروانه

مفید بوده‌اند. این پوشش‌ها سطح تیغه را صاف‌تر کرده و مقاومت به جریان‌های متلاطم را افزایش می‌دهند [30].

• **مدل‌سازی دقیق کاویتاسیون:** با استفاده از مدل‌های CFD می‌توان رفتار کاویتاسیون را به‌طور دقیق پیش‌بینی کرد و با اصلاحات طراحی، از آن جلوگیری کرد. مدل‌های Erosion-Cavitation برای پیش‌بینی نواحی که کاویتاسیون رخ می‌دهد و ارائه راهکارهای بهینه‌سازی به‌کار گرفته می‌شوند [39].

۵-۶- کنترل هوشمند و مانیتورینگ

پیشرفت‌های اخیر در حوزه سیستم‌های هوشمند و کنترل‌های تطبیقی، امکان بهبود عملکرد پروانه‌های نیمه مغروق را در شرایط واقعی فراهم کرده است. این سیستم‌ها به‌صورت بلادرنگ پارامترهای مختلف مانند سرعت، دما و فشار را مانیتور کرده و تغییرات لازم برای بهینه‌سازی عملکرد را اعمال می‌کنند. با پیشرفت در سیستم‌های الکترونیکی و کنترل، استفاده از سیستم‌های مانیتورینگ پیشرفته و کنترل هوشمند در پروانه‌های نیمه مغروق مورد توجه قرار گرفته است. این سیستم‌ها امکان تنظیم خودکار پروانه را در حین حرکت فراهم می‌کنند تا عملکرد بهینه در هر لحظه تضمین شود.

نوآوری‌ها:

• **سنسورهای دما و فشار:** این سنسورها به‌طور مداوم وضعیت پروانه را اندازه‌گیری کرده و اطلاعات را به سیستم کنترلی ارسال می‌کنند تا تنظیمات لازم برای بهینه‌سازی عملکرد پروانه اعمال شود. سنسورهای دما، فشار، و جریان‌های دینامیکی در سیستم‌های کنترل پروانه نصب شده‌اند که می‌توانند وضعیت پروانه را در هر لحظه تحلیل کرده و به سیستم کنترلی گزارش دهند.

• **کنترل تطبیقی:** سیستم‌های کنترل تطبیقی می‌توانند به‌صورت بلادرنگ تغییرات در شرایط محیطی و سرعت را شناسایی کرده و عملکرد پروانه را متناسب با آن‌ها تنظیم کنند. این باعث کاهش مصرف انرژی و افزایش راندمان کلی سیستم می‌شود [49]. سیستم‌های کنترل تطبیقی با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند تغییرات در شرایط محیطی را به‌صورت بلادرنگ شناسایی کنند و پارامترهای عملکردی پروانه را برای بهبود کارایی تنظیم کنند.

• **سیستم‌های پیش‌بینی خرابی:** استفاده از سیستم‌های پیش‌بینی و جلوگیری از خرابی در پروانه‌های نیمه مغروق به بهبود نگهداری و کاهش هزینه‌ها کمک می‌کند. این سیستم‌ها می‌توانند خرابی‌های احتمالی را پیش‌بینی کنند و قبل از وقوع مشکل، تعمیرات لازم را پیشنهاد دهند.

این پیشرفت‌ها نه تنها به بهبود کارایی و افزایش عمر پروانه‌های نیمه مغروق کمک کرده، بلکه باعث شده تا کاربرد آن‌ها در صنایع دریایی، از جمله قایق‌های تندرو نظامی و تجاری گسترش یابد [50].

۶. روش‌شناسی پژوهش

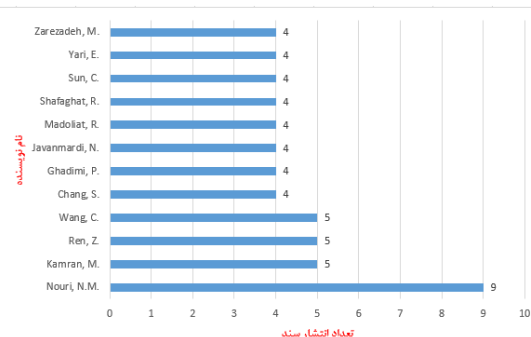
این پژوهش از لحاظ هدف جز تحقیقات کاربردی است زیرا پژوهشگران می‌توانند از نتایج آن برای بهبود شرایط و یافتن مسیر تحقیقاتی خود در زمینه فناوری مرتبط با پروانه نیمه مغروق بهره ببرند.

نتایج ارایه شده در این مقاله شامل بررسی مدارک (شامل مقالات چاپ شده در مجلات، مقالات کنفرانسی، کتاب، گزارش و غیره) منتشر شده در جهان در حوزه پروانه‌های نیمه مغروق می‌باشد. برای این منظور پایگاه اطلاعاتی اسکوپوس که یک پلتفرم آنلاین و فرمت‌های مختلف اطلاعاتی (مقاله، مجله، کتاب، ویدئو، پایان نامه، عکس، گزارش‌ها، اسنادها و سایر منابع تحقیقاتی) را در یک حوزه تخصصی یا چند موضوعی نگهداری می‌کند برای این منظور انتخاب شده است این پایگاه هم اکنون یکی از ابزارهای اصلی تحقیقات دانشگاهی و پژوهش‌های علمی محسوب می‌شوند.

۱۱ بررسی وضعیت علمی پروانه‌های نیمه مغروق

(یافته‌های پژوهش)

تعداد مدارک منتشر شده در این حوزه در شکل ۶ نشان داده شده است. یکی از چالش‌های اساسی در تحلیل و توسعه دانش در حوزه پروانه نیمه مغروق وابستگی شدید این نوع دانش به حوزه تست و ارزیابی عملکرد در محیط واقعی است. این فرایندی بسیار پرهزینه و نیازمند زیرساخت‌های متعدد است. به همین دلیل این حوزه دانشی بسیار وابسته به حمایت‌های مالی و زیرساختی و آزمایشگاهی است. روند انتشار اسناد علمی در این حوزه

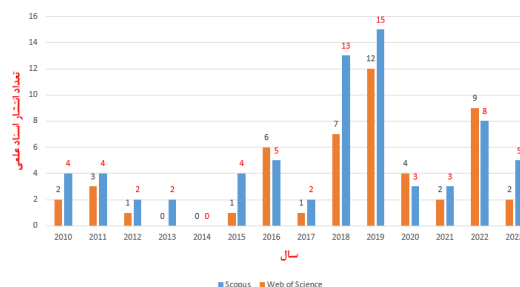


شکل ۸- شماتیکی از نویسندگان فعال (بیشترین انتشار اسناد علمی) در حوزه پروانه‌های نیمه مغروق

جدول ۲- لیستی از جدیدترین مقالات منتشر شده در حوزه پروانه نیمه مغروق

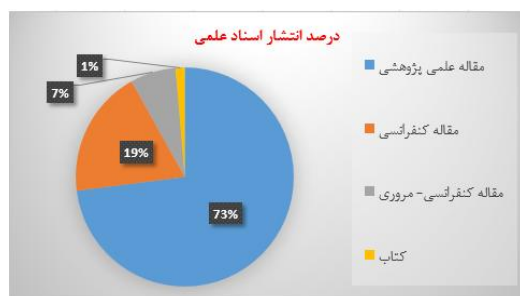
سال انتشار	محل چاپ	نویسندگان	عنوان مقاله به فارسی	عنوان مقاله (انگلیسی)	ردیف
2024	Scientific Reports	Masoud Zarezadeh Nowrouz Mohammad Nouri Reza Madoliat	بهینه سازی پارامترهای پروانه نیمه مغروق توسط شبکه عصبی مصنوعی	Position parameters optimization of surface piercing propeller by artificial neural network	1
2023	Ocean Engineering	Seif, Mohammad Saeed Teimouri, Mahdi	بررسی اثرات پوسته پوسته شدن در پروانه نیمه مغروق	The study on the scaling effects in the surface piercing propeller	2
2022	Scientific Reports	Kamran, Maryam Nouri, Norouz Mohammad Goudarzi, Hossein Golrokhifara, Saeed	ارزیابی تجربی تأثیر پارامترهای موقعیت و عملکرد بر عملکرد پروانه نیمه مغروق	Experimental evaluation of the effect of positioning and operating parameters on the performance of a surface-piercing propeller	3
2022	Ocean Engineering	Seif, Mohammad Saeed Teimouri, Mahdi	بررسی تجربی و عددی عملکرد هیدرودینامیکی یک خانواده پروانه نیمه مغروق جدید	Experimental and numerical investigation of hydrodynamic performance of a new surface piercing propeller family	4
2022	Ocean Engineering	Kamran M Nouri N.M	مدلسازی رگرسیونی عملکرد پروانه نیمه مغروق بر اساس پارامترهای هندسی لبه انتهایی با استفاده از روش CFD	Regression Modeling of surface piercing propeller performance based on trailing edge geometrical parameters using CFD method	5

در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۱۸ به بالاترین تعداد انتشار اسناد علمی رسیده است.



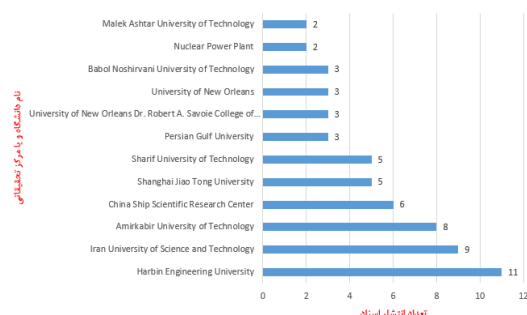
شکل ۶- شماتیکی از روند انتشار اسناد علمی در حوزه پروانه‌های نیمه مغروق در دو پایگاه استنادی وب آف ساینس و اسکوپوس

شکل ۷ وضعیت نوع مدارک منتشر شده (مقاله کنفرانسی، مقاله علمی پژوهشی، کتاب و غیره) در دنیا را در این حوزه نشان می‌دهد. همانطور که مشخص شده است مقالات علمی پژوهشی منتشر شده با بیش از ۷۳ درصد بیشترین میزان مدارک منتشر شده در این حوزه را به خود اختصاص داده است. مقالات کنفرانسی با ۱۹ درصد و مقالات کنفرانسی مروری با ۷ درصد در رتبه بعدی قرار گرفته اند.



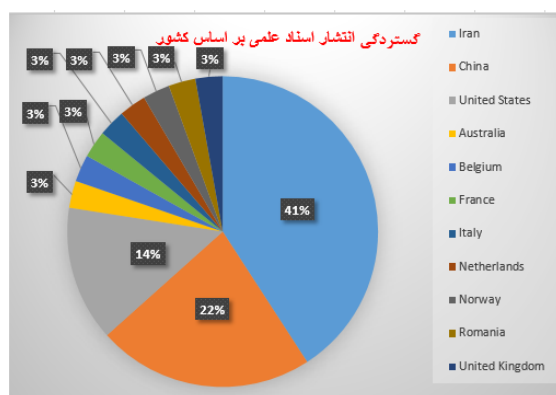
شکل ۷- شماتیکی از درصد و گستردگی انتشار اسناد علمی در حوزه پروانه های نیمه مغروق

نویسندگان این حوزه در سطح بین‌المللی با بیشترین تعداد مدرک در شکل ۸ نشان داده شده‌اند. با توجه به اهمیت موضوع شناورهای تندرو در کشور، اکثر نویسندگان مطرح و فعال در این حوزه را دانشجویان و اعضای هیئت علمی دانشگاه‌های کشور ایران تشکیل داده اند. در جدول ۱ لیستی از جدیدترین انتشارات مراکز دانشگاهی ایران لیست شده است.



شکل ۹- شماتیکی از مراکز تحقیقاتی و دانشگاه‌های فعال و پیشرو در حوزه انتشار اسناد علمی مرتبط با پروانه‌های نیمه مغروق

شکل ۱۰ وضعیت انتشار اسناد علمی در حوزه پروانه‌های نیمه مغروق را بر اساس کشور نمایش می‌دهد. با توجه به اهمیت شناورهای تندرو در دکتترین دفاعی و اقتصاد دریای پایه مشاهده می‌شود که بیشترین اسناد علمی چاپ شده در حوزه پروانه‌های نیمه مغروق متعلق به کشور عزیزمان ایران بوده است. چین و کشور ایالات متحده در رتبه‌های بعدی در این حوزه علم و فناوری قرار گرفته‌اند. بر اساس این مطالعات در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۲۳ کشور ایران حدود ۲۹ سند علمی در حدود ۴۱ درصد از کل اسناد علمی منتشر شده در حوزه پروانه‌های نیمه مغروق را تولید و منتشر کرده است. کشور چین در حدود ۱۶ سند علمی در حدود ۲۲ درصد و کشور ایالات متحده در حدود ۱۰ سند علمی و حدود ۱۴ درصد از تولیدات علمی را به خود اختصاص داده‌اند.



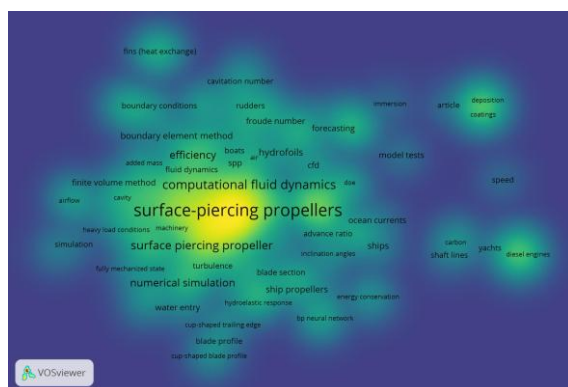
شکل ۱۰- شماتیکی از گستردگی انتشار اسناد علمی در حوزه پروانه‌های نیمه مغروق

در ادامه به منظور ترسیم ساختار دانشی در این حوزه در ابتدا با استفاده از خروجی‌های حاصل از پایگاه استنادی اسکوپوس و با بهره‌گیری از نرم‌افزار VosViewer تحلیل واژگان مربوطه انجام شده است. در این قسمت لغات موجود در مدارک استخراج و مرتبط‌ترین واژگان از میان

سال انتشار	محل چاپ	نویسندگان	عنوان مقاله به فارسی	عنوان مقاله (انگلیسی)	ردیف
2022	Journal of Applied Fluid Mechanics	Teimoori M. Seif, Mohammad Saeed	بررسی پروانه های نیمه مغروق در عمق غوطه وری متفاوت با استفاده از روش عددی	A Study into Surface-Piercing Propellers at Different Immersion Depths using a Towing Tank and a Numerical Method	6
2022	Applied Ocean Research	Kamran M Nowrouz Mohammad Nouri Askarpour H	بررسی عددی اثر شکل لبه انتهایی (فرار) بر عملکرد پروانه نیمه مغروق	Numerical Investigation of the Effect of Trailing Edge Shape on Surface-Piercing Propeller Performance	7
2022	Measurement: Journal of the International Measurement Confederation	Kamran, Maryam, Nouri, Norouz Mohammad	سیستم آزمایش مدل برای پروانه های نیمه مغروق در یک تونل آب: روش طراحی و کالیبراسیون درجا	Model testing system for surface-piercing propellers in a water tunnel: Design and in situ calibration methodology	8
2021	Ocean Engineering	Amini, Ali Nouri, Nowrouz Mohammad Abedi, Aria Kamran, Maryam	بهبود عملکرد پروانه نیمه مغروق سطحی در ضرایب پیشروی پایین توسط هوادهی	Performance improvement of surface piercing propeller at low advance coefficients by aeration	9
2020	Applied Ocean Research	Yousefi, Abdorreza Shafaghat, Rouzbeh	بررسی عددی پارامترهای مؤثر بر شکل‌گیری و رشد هوادهی در پروانه نیمه مغروق	Numerical study of the parameters affecting the formation and growth of ventilation in a surface-piercing propeller	10

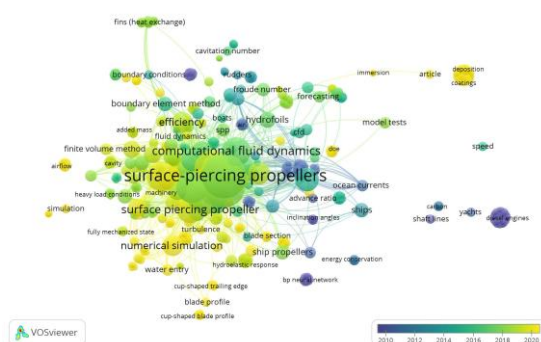
در شکل ۹ مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی پیشرو در این حوزه لیست شده‌اند. در حوزه مطالعات و فعالیت‌های علمی و پژوهشی دانشگاه هاربین چین، دانشگاه علم و صنعت و دانشگاه امیرکبیر از ایران در رتبه‌های اول تا سوم قرار گرفته‌اند. دانشگاه‌های صنعتی شریف، خلیج فارس بوشهر، نوشیروانی بابل و صنعتی مالک اشتر جزء مراکز تحقیقاتی پیشرو و فعال در حوزه پروانه‌های نیمه مغروق هستند. این موضوع نشان دهنده اهمیت توسعه دانش بومی در حوزه پروانه‌های نیمه مغروق در کشور عزیزمان ایران می‌باشد.

این دو واژه در مدارک زیادی با هم بکار رفته‌اند. همچنین اگر فاصله دو واژه از هم زیاد باشد به این معنی است که در مدارک کمی این دو واژه با یکدیگر بکار رفته‌اند.



شکل ۱۲- وضعیت تراکم (چگالی) و پراکندگی واژگان شبکه هم واژگانی در حوزه پروانه‌های نیمه مغروق

شکل ۱۳ جدیدترین عناوین فناوری در حوزه پروانه‌های نیمه مغروق را در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۲۰ نشان می‌دهد. با تحلیل این شکل می‌توان فناوری‌های داغ‌تر یا به نوعی نوظهور و بدیع را در یک حوزه فناوری شناسایی نمود. رنگ‌ها (گره‌ها) متمایل به زرد و روشن‌تر حوزه‌های علمی جدیدتر را نشان می‌دهند. فناوری‌های روش‌های عددی، پارامترهای هیدرودینامیکی، توربولانس، تست‌های تونل کاویتاسیون جزء فناوری‌های داغ در این حوزه علم و فناوری می‌باشد.

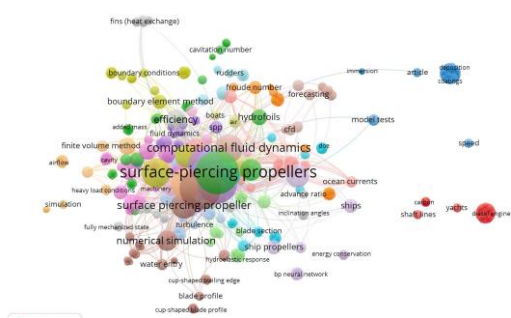


شکل ۱۳- داغ‌ترین و جدیدترین موضوعات علمی در حوزه پروانه‌های نیمه مغروق

۷. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از تحلیل هم واژگانی هم رخدادی کلید واژه‌های در حوزه پروانه‌های نیمه مغروق در شناورهای تندرو و ساختار شبکه پژوهشی و چگونگی ارتباط بین زیرحوزه‌های موضوعی بین سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۲۳ میلادی مشخص شده است. بررسی متون در این

آن‌ها جهت نمایش در شبکه انتخاب شده‌اند. این کار باعث می‌شود که لغاتی که اهمیت کمتری در این مدارک دارند حذف شده و شبکه نیز فقط بر روی نمایش لغات مهم در این حوزه متمرکز شود. در گام بعدی باید خروجی را تحلیل و ساختار این حوزه دانشی را ترسیم نماییم. خروجی ساختار دانشی در شکل ۱۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱۱- شبکه هم واژگانی در حوزه پروانه‌های نیمه مغروق (نقشه ساختار دانشی)

کوچک یا بزرگ بودن دایره‌ها (گره‌ها) در این شکل نشان دهنده این موضوع است که حوزه پروانه‌های نیمه مغروق چه میزان هر واژه تکرار شده است. در این شکل Computational Fluid Dynamic, Numerical Simulation, Hydrodynamics, Computer Simulation (Ship Propulsion, Two Phase Flow, Cavitation) واژه‌های Surface Piercing Propellers, چون دایره‌های (گره‌های) بزرگتری دارند در واقع بیشترین تکرار را در میان مدارک منتشر شده در این حوزه دارا می‌باشند. در این ساختار دانشی هر یک رنگ بکار رفته معرف یک خوشه علم و فناوری درگیر با موضوعی اصلی (پروانه‌های نیمه مغروق) می‌باشد.

همچنین وضعیت تراکم (چگالی) و پراکندگی واژگان در این حوزه نیز در شکل ۱۲ نمایش داده شده است. در شکل بیشترین میزان تراکم واژگان در شبکه با رنگ سبز نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است لغتی همچون Surface Piercing Propellers در ناحیه سبز قرار دارد. به همین ترتیب ناحیه‌های قهوه‌ای، بنفش و صورتی بیشترین میزان تراکم را به خود اختصاص داده‌اند.

همچنین دوری و نزدیکی لغات نیز در این شکل دارای معنی و مفهوم می‌باشد. به این صورت که مثلاً اگر فاصله دو واژه نسبتاً کم باشد در نتیجه می‌توان بیان نمود که

- [5] Amini , Nowrouz Mohammad Nouri, Aria li ,Maryam Kamran, "Performance improvement of surface piercing propeller at low ice coefficients by aeration," *Ocean Engineering*, vol. ۲۳۸, pp. 34-55, ۲۰۲۱. 116/j.oceaneng.2021.109551
- [6] Seyyed Mostafa Seyyedi, Rouzbeh Shafaghat ,Negin Donyavizadeh, "A Review on the Hydrodynamic Characteristics of the SPP Concerning to the Available Experimental Data and Evaluating Regression Polynomial Functions," *International Journal of Maritime Technology (IJMT)*, vol. 10, pp. 25-38, 2018. 10.29252/ijmt.10.25
- [7] Abdorreza Yousefi, Rouzbeh Shafaghat, "Numerical study of the parameters affecting the formation and growth of ventilation in a surface-piercing propeller," *Applied Ocean Research*, vol. 104, pp. 56-72, 2020. DOI:10.1016/j.apor.2020.102360
- [8] M. Tadros, M. Ventura, C. Guedes Soares, "Optimization procedures for a twin controllable pitch propeller of a ROPAX ship at minimum fuel consumption," *Journal of Marine Engineering and Technology (JMET)* , vol. 22, no. 4, pp. 167-175, 2022. doi.org/10.1080/20464177.2022.2106623
- [9] Yousefi, A. & Shafaghat, R. Numerical study of the parameters affecting the formation and growth of ventilation in a surfacepiercing propeller. *Appl. Ocean Res.* **104**, 102360 2020, <https://doi.org/10.1016/j.apor.2020.102360>
- [10] Abbas Dashtimanesh, Mohammad Hossein Ghaemi, Youjiang Wang, Rasul Niazmand Bilandi, Spyros Hirdaris, "Digitalization of High Speed Craft Design and Operation Challenges and Opportunities," in *3rd International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing*, Shanghai, China, 2022, DOI:10.1016/j.procs.2022.01.254.
- [11] Seyyedi, Seyyed Mostafa, Shafaghat, Rouzbeh, "A review on the Surface-Piercing Propeller: Challenges and opportunities," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, Volume 234, Issue 4, , pp. 743 - 770, 2020, DOI:10.1177/1475090220906917
- [12] S. Y. Sun and G. X. Wu, "Local flow at plate edge during water entry," *Phys.Fluids* 32, 072103 (2020), DOI:10.1063/5.0013914

بازه زمانی نشان می‌دهد که در مجموع ۷۰ مدرک در پایگاه اسکوپوس نمایه شده است. پروانه‌های نیمه‌مغروق نوع ویژه‌ای از پروانه‌های سوپر کاویتاسیونی هستند که در شرایط نیمه‌مغروق عمل می‌کنند. این نوع پروانه‌ها طوری طراحی گردیده‌اند که بهترین عملکرد و بیشترین راندمان را در بالاترین سرعت دارند. مزایای پروانه‌های نیمه‌مغروق باعث شده که اکثر شناورهای تندرو از این نوع پروانه‌ها استفاده نمایند. مهم‌ترین پارامترهای موثر در رفتار پروانه‌های نیمه‌مغروق شامل؛ ویژگی‌های هندسی، مانند تعداد پره، نسبت گام، نسبت سطح گسترش‌یافته، زاویه کجی، زاویه شلاقی، مقطع پره، و نیز ویژگی‌های فیزیکی، مانند زاویه عمودی شفت، زاویه عرضی شفت، ضریب پیشروی، نسبت مغروقی و اعداد بی‌بعد رینولدز، کاویتاسیون، وبر و فرود می‌باشند. از لحاظ علمی کشور ایران در صدر تولیدات علمی در این حوزه فناوری است و به منظور پایداری و پشتیبانی فنی در این حوزه لازم است از سایر مشوق‌های علمی نظیر بورسیه‌های تحصیلی، برگزاری همایش‌های تخصصی، برگزاری دوره‌های آموزشی مشترک با سایر دانشگاه‌های مطرح، فرصت‌های مطالعاتی این روند موفقیت در کشور ادامه‌دار شود.

۲- منابع و مراجع

- [1] Masoud Zarezadeh, Nowrouz Mohammad Nouri, Reza Madoliat, "Position parameters optimization of surface piercing propeller by artificial neural network," *scientific reports*, vol. 14, no. 2295, pp. 1162-1190, 27 January 2024. DOI:10.1038/s41598-024-52325-8
- [2] Javanmard, Ehsan, Yari, Ehsan, Mehr, Javad A, "Numerical investigation on the effect of shaft inclination angle on hydrodynamic characteristics of a surface-piercing propeller," *Applied Ocean Research*, vol. 98, 2020. DOI:10.1016/j.apor.2020.102108
- [3] Yari E., Ghassemi H. Hydrodynamic analysis of the surface-piercing propeller in unsteady open water condition using boundary element method [J]. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 2016, 8(1): 22–37. <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2015.09.002>
- [4] Matveev, K.I., Wheeler, M.P., Xing, T., Numerical simulation of air ventilation and its suppression on inclined surface-piercing hydrofoils, *Ocean Engineering*, 175, 2019, 251-61. DOI:10.1016/j.oceaneng.2019.02.040

- [21] Biao Huang, Si-cong Qiu, Qin Wu, Guo-yu Wang, "A review of transient flow structure and unsteady mechanism of cavitating flow," *Journal of Hydrodynamics*, vol. ۳۱, p. 429–444, ۲۰۱۹, DOI: 10.1007/s42241-019-0050-0
- [22] Yang, D., Numerical analysis on the hydrodynamic performance of an artificially ventilated surface-piercing propeller, *Water*, 10(11), 2018, DOI:10.3390/w10111499
- [23] N. Javanmardi and P. Ghadimi, "Hydroelastic analysis of surface piercing hydrofoil during initial water entry phase," *Sci. Iran*. 26,295–310 (2019), DOI: 10.24200/sci.2017.20010
- [24] Amini, A., Nouri, N.M., Niazi, S., Abedi, A., A Numerical Study on Surface-piercing Propellers using Sliding Mesh Method via Openfoam Software, *Iranica Journal of Energy & Environment*, 14(4), 2023, 415-22, doi: 10.5829/ijee.2023.14.04.11.
- [25] Wheeler, M.P., Matveev, K.I., Numerical Modeling of Surface-Piercing Flexible Hydrofoils in Waves, *Journal of Ship Research*, 67(02), 2023, 140-9, DOI: 10.3390/jmse11020246
- [26] Gao, Z., Numerical analysis on the effect of artificial ventilated pipe diameter on hydrodynamic performance of a surface-piercing propeller, *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(8), 2019, 240, DOI: 10.3390/jmse7080240
- [27] Javanmard, E., Yari, E., Mehr, J.A., Mansoorzadeh, S., Hydrodynamic characteristic curves and behavior of flow around a surface-piercing propeller using computational fluid dynamics based on FVM, *Ocean Engineering*, 192, 2019, 106445.
- [28] Wajdi Rajhi, Ahmed Mohamed Mahmoud Ibrahim, Abdel-Hamid I. Mourad ,Mohamed Boujelbene , Manabu Fujii ,Ammar Elsheikh , "Prediction of milled surface characteristics of carbon fiber-reinforced polyetheretherketone using an optimized machine learning model by gazelle optimizer," *Measurement*, vol. 222, no. 30, pp. 25-41, 2023, doi.org/10.1016/j.measurement.2023.113627
- [29] Rajhi, W. *et al.* Prediction of milled surface characteristics of carbon fiber-reinforced polyetheretherketone using an optimized machine learning model by gazelle optimizer. *Measurement* **222**, 113627 (2023), DOI:10.1016/j.measurement.2023.113627
- [30] Wang Z., Huang B., Zhang M. et al. Experimental and numerical investigation of ventilated cavitating flow structures with special emphasis on vortex shedding dynamics [J]. *International Journal of Multiphase Flow*, 2018, 98: 79–95,
- [13] Seif, Mohammad Saeed, Teimouri, Mahdi, "The study on the scaling effects in the surface piercing propeller," *Ocean Engineering*, vol. 267, 2023, doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.113156
- [14] Chang, Shengming, Wang, Chao, Sun, Cong, Ding, Enbao, "Optimization design of surface piercing propeller blade profile based on TOPSIS method," *Huazhong Keji Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science Edition)*, vol. 51, no. 10, pp. 57 - 63, 2023.
- [15] Nouroozi, H., Zeraatgar, H., A, "reliable simulation for hydrodynamic performance prediction of surface-piercing propellers using URANS method," *Applied Ocean Research*, vol. ۹۲, ۲۰۱۹, DOI:10.1016/j.apor.2019.101939
- [16] Pakian Bushehri, M., Golbahar Haghighi, M., "Experimental and numerical analysis of Hydrodynamic Characteristics of a surface piercing propeller mounted on high-speed craft," *International Journal of Maritime Technology*, vol. 15, pp. 79-91, 2021.
- [17] Yari, E., Moghadam, A.B, "BEM applied to the cup effect on the partially submerged propeller performance prediction and ventilation patte," *Journal of Applied and Computational Mechanic*, pp. ۳۹۲-۴۰۵, ۲۰۲۴., DOI: 10.22060/mej.2016.662
- [18] Kamran, M., Nouri, N., Askarpour, H, "Numerical Investigation of the Effect of Trailing Edge Shape on Surface-Piercing Propeller Performa," *Applied Ocean Research*, vol. ۱۲۵, pp. ۱۰۵-۱۲۲, ۲۰۲۲, DOI:10.1016/j.apor.2022.103230
- [19] Shuai Sun, Chao Wang, Chunyu Guo, Yuan Zhang, Pengfei Liu, "Numerical study of scale effect on the wake dynamics of a propeller," *Ocean Engineering*, vol. ۱۹۵, no. ۱۵, ۲۰۲۰, DOI:10.1016/j.oceaneng.2019.106810.
- [20] Siamak Alimirzazadeh, Saeed Zabihzade Roshan, Mohammad Saeed Seif, "Unsteady RANS simulation of a surface piercing propeller in oblique flow," *Applied Ocean Research*, vol. ۵۶, pp. 79-91, ۲۰۱۶, DOI:10.1016/j.apor.2016.01.003

DOI:10.1016/j.apor.2016.01.003

- [42] Zhang M., Chen H., Wu Q. et al. Experimental and numerical investigation of cavitating vortical patterns around a Tulin hydrofoil [J]. *Ocean Engineering*, 2019, 173: 298–307, DOI:10.1016/j.oceaneng.2018.12.064
- [43] Zhang M., Chen H., Wu Q. et al. Experimental and numerical investigation of cavitating vortical patterns around a Tulin hydrofoil [J]. *Ocean Engineering*, 2019, 173: 298–307.
- [44] Wang C. C., Huang B., Wang G. Y. et al. Numerical simulation of transient turbulent cavitating flows with special emphasis on shock wave dynamics considering the water/vapor compressibility [J]. *Journal of Hydrodynamics*, 2018, 30(4): 573–591, doi.org/10.1007/s42241-018-0058-x
- [45] Long Y., Long X., Ji B. et al. Verification and validation of URANS simulations of the turbulent cavitating flow around the hydrofoil [J]. *Journal of Hydrodynamics*, 2017, 29(4): 610–620, Doi.org/10.1016/S1001-6058(16)60774-6
- [46] Long Y., Long X., Ji B. et al. Verification and validation of large eddy simulation of attached cavitating flow around a Clark-Y hydrofoil [J]. *International Journal of Multiphase Flow*, 2019, 115: 93–107, DOI:10.1016/j.ijmultiphaseflow.2019.03.026
- [47] Park J., Seong W. Novel scaling law for estimating propeller tip vortex cavitation noise from model experiment [J]. *Journal of Hydrodynamics*, 2017, 29(6): 962–971, DOI:10.1016/S1001-6058(16)60810-7
- [48] Wu Q., Huang B., Wang G. et al. Numerical modelling of unsteady cavitation and induced noise around a marine propeller [J]. *Ocean Engineering*, 2018, 160: 143–155, 10.1016/j.oceaneng.2018.04.028
- [49] Aursand, M., P. J. Haagenzen, and B. H. Skallerud. 2023. “Remaining Fatigue Life Assessment of Corroded Mooring Chains Using Crack Growth Modelling.” *Marine Structures* 90: 103446, doi.org/10.1016/j.marstruc.2023.103446
- [50] Bui, T. Q., and X. Hu. 2021. “A Review of Phase-Field Models, Fundamentals and Their Applications to Composite Laminates.” *Engineering Fracture Mechanics* 248, DOI:10.1016/j.engfracmech.2021.107705
- [51] S. Y. Sun and G. X. Wu, “Oblique water entry of an inclined finite plate with gravity effect,” *Phys. Fluids* 35, 042112 (2023), /doi.org/10.1063/5.0147309
- DOI:10.1016/j.ijmultiphaseflow.2017.08.014
- [31] Chen T., Huang B., Wang G. et al. Numerical investigation of thermo-sensitive cavitating flows in a wide range of free-stream temperatures and velocities in fluoroketone [J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2017, 112: 125–136, doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.04.023
- [32] Wang Y., Xu C., Wu X. et al. Ventilated cloud cavitating flow around a blunt body close to the free surface [J]. *Physical Review Fluids*, 2017, 2(8): 084303, DOI:10.1103/PhysRevFluids.2.084303
- [33] Xiang M., Cheung S., Tu J. et al. Numerical research on drag reduction by ventilated partial cavity based on two-fluid model [J]. *Ocean Engineering*, 2011, 38(17–18): 2023–2032, doi.org/10.1016/j.oceaneng.2011.09.013
- [34] Liu T., Huang B., Wang G. et al. Experimental investigation of ventilated partial cavitating flows with special emphasis on flow pattern regime and unsteady shedding behavior around an axisymmetric body at different angles of attack [J]. *Ocean Engineering*, 2018, 147: 289–303.
- [35] Wu Q., Wang C., Huang B. et al. Measurement and prediction of cavitating flow-induced vibrations [J]. *Journal of Hydrodynamics*, 2018, 30(6): 1064–1071, doi.org/10.1007/s42241-018-0115-5
- [36] Wu Q., Huang B., Wang G. et al. Numerical modelling of unsteady cavitation and induced noise around a marine propeller [J]. *Ocean Engineering*, 2018, 160: 143–155, doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.04.028
- [37] Wu Q., Wang Y., Wang G. Experimental investigation of cavitating flow-induced vibration of hydrofoils [J]. *Ocean Engineering*, 2017, 144: 50–60, doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.08.005
- [38] Zhang H., Wu Q., Li Y. et al. Numerical investigation of the deformation characteristics of a composite hydrofoil with different ply angles [J]. *Ocean Engineering*, 2018, 163: 348–357, doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.05.064.
- [39] Long Y., Long X. P., Ji B. et al. Verification and validation of URANS simulations of the turbulent cavitating flow around the hydrofoil [J]. *Journal of Hydrodynamics*, 2017, 29(4): 610–620, doi.org/10.1016/S1001-6058(16) 60774-6
- [40] Liu M., Tan L., Liu Y. et al. Large eddy simulation of cavitation vortex interaction and pressure fluctuation around hydrofoil ALE 15 [J]. *Ocean Engineering*, 2018, 163: 264–274, oi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.06.005
- [41] Alimirzazadeh S., Roshan S. Z., Seif M. S. Unsteady RANS simulation of a surface piercing propeller in oblique flow [J]. *Applied Ocean Research*, 2016, 56: 79–91,

بررسی اثر نصب هیدروفویل بر عملکرد قایق های پرنده

رحمن فتاح^۱، سعید جامعی^۲

۱ و ۲- دانشگاه خلیج فارس بوشهر، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی دریا

چکیده:

در این مقاله عملکرد قایق های پرنده تحت تاثیر نصب هیدروفویل به جای ارابه فرود یا عدم نصب آن، به عنوان یک ایده مطرح گردیده و مورد بررسی قرار می گیرد تا در صورت برآورده نمودن شرایط بهینه سازی در بهبود عملکرد و کارایی قایق های پرنده مورد توجه قرار داده شود. اندازه مدل ها مقایسه ای از طرح و مدل سازی دلخواه است که طراحی مفهومی با فرمت IGES در نرم افزار اتوکد صورت گرفته است که به مقیاس واقعی شناورهای از این نوع نزدیک می باشد و مدل سه بعدی به طول ۱۰ متر رسم گردیده است. شبیه سازی سیالاتی در نرم افزار + star ccm با فرض جریان غیر یکنواخت، k Epsilone Tourbulent، و در دو فاز آب و هوا با مدل aulerian multi phazes، در آب آرام و بدون موج انجام گردیده است. پارامترهای بی بعد لیفت، درگ و گشتاور ایجاد شده هر دو مدل با هم مقایسه شده است، تصویر سطح آزاد هر دو شبیه سازی به همراه کانتورهای فشار و تنش برشی جهت درک بهتری از این ایده که از شبیه سازی حاصل گردیده است در ادامه آمده است. در آخر با مقایسه های صورت گرفته با در نظر گرفتن عوامل افزایش کارایی بهترین مدل پیشنهاد گردیده است.

واژه های کلیدی:

قایق پرنده، ارابه فرود، هیدروفویل، شبیه سازی سیالاتی، بهینه سازی

investigation of hydrofoil installation on the performance of flying boats (WIGcraft)

Rahman Fattah, Saeed Jamei

Department of Marine Engineering, Faculty of Engineering, Persian Gulf University, Bushehr, Islamic Republic of Iran

Abstract

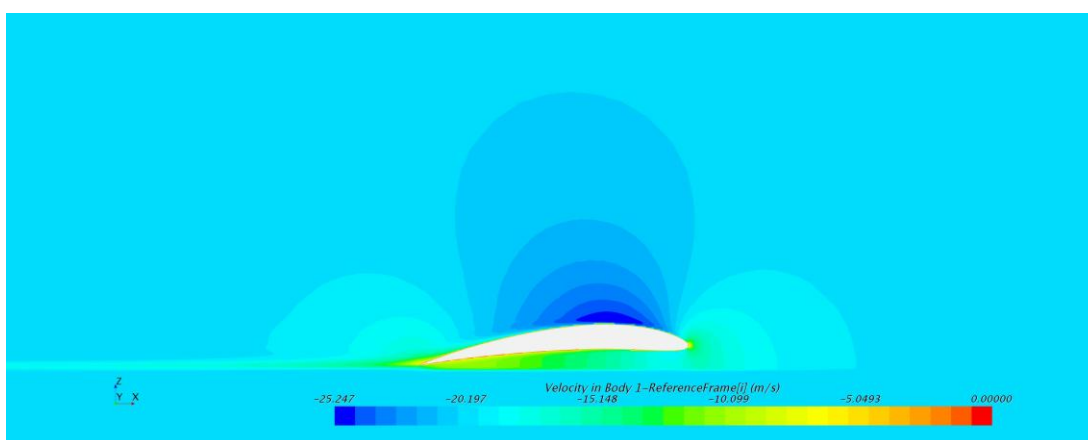
In this article, the performance of flying boats under the influence of installing hydrofoils instead of landing gear or not installing them is proposed and examined as an idea, so that if the optimization conditions are met, it can be considered in improving the performance and efficiency of flying boats. The size of the models is a comparison of the desired design and modeling, which is a conceptual design in IGES format in AutoCAD software, which is close to the real scale of vessels of this type and the three-dimensional model is drawn to a length of 10 meters. Fluid simulation in star ccm + software was performed under the assumption of non-uniform flow, k Epsilone Turbulent, and in two phases of water and air with the aulerian multi-phases model, in calm water and without waves. The dimensionless parameters of lift, drag and torque generated by both models are compared, the free surface image of both simulations along with pressure and shear stress contours are given below for a better understanding of this idea that was obtained from the simulation. Finally, based on the comparisons made and taking into account the factors that increase efficiency, the best model has been proposed.

Keywords

WIGcraft, landing gear, hydrofoil, Fluid simulation, Optimization

۱. مقدمه

بی نهایت است که هر دو عامل به زیاد شدن پارامتر نسبت لیفت به درگ و افزایش کارایی کمک می‌کند. قایق های پرنده، شناورهایی هستند که در ارتباط با این نیروی لیفت افزوده بوجود آمدند تا با استفاده از این پدیده در محدوده اثر سطح بر روی سطح آب دریا پرواز کنند. طراحی شناورهایی با بهره گیری از این خاصیت سرعت جابجایی در دریا را به صورت چشمگیری بهبود می دهد و علاوه بر آن با توجه به اینکه بدنه شناور حین حرکت با سطح دریا تماس ندارد از برخورد با موج و پدیده اسلیمینگ جلوگیری می‌شود.



شکل ۱ - ایرفویل تحت اثر سطح [1]

کردن عوامل تأثیرگذار در رفتار قایق پرنده نظیر ارتفاع و سرعت، صورت گرفته است.

رژدستوینسکی: در این کتاب ابتدا با تعاریفی از اثر سطح محدوده‌های آن مشخص گردیده‌است، که این کار با تعریف عدد بی بعد گراندکلیرنس صورت می‌گیرد تا با توجه به اندازه قایق پرنده روابط صحیحی بدست آید و بتوان متناسب با هر محیطی و شناوری، ارتفاع مناسب پرواز را درک نمود. مهم‌ترین و کامل‌ترین فرمول‌های بررسی رفتار قایق‌های پرنده در این کتاب با استفاده از مفاهیم پایه‌ای مکانیک سیالات بدست آمده است که مرجع بسیار مهمی برای پژوهشگران در زمینه پدیده اثر سطح به حساب می‌آید.

کیولین کیو: در این مقاله شبیه‌سازی پرواز قایق پرنده در زوایای ۳ و ۹ درجه بر سطح صاف و موج در انسیس فلوئنت صورت گرفته است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی بیان کننده میزان تغییرات خواص آیرودینامیکی و تغییر زوایا بر میزان ضرایب لیفت و درگ است. همچنین شکل‌ها میزان تغییرات فشار اطراف بال قایق پرنده را به خوبی نشان داده است.

اثر سطح نیروی لیفت افزوده‌ای است که از طرف زمین بر بال وسایل پرنده در فاز نشست و برخاست وارد می‌شود. این پدیده حاصل محبوس ماندن هوا بین بال قایق های پرنده و سطح دریاست که نیروی لیفتی افزون بر لیفت حاصل از شکل آیرودینامیکی بال ایجاد می‌کند که در شکل ۱ این اثر بر روی ایرفویل به شماره ناکای NAKA6409 شبیه‌سازی شده‌است. از مزایای بهره‌گیری از اثر سطح، علاوه بر افزایش لیفت به طریق عنوان شده کاهش درگ القایی بال و نزدیک شدن بال به خاصیت بال

پرداختن به آیرودینامیک اثر سطح از زمانی که تیم آلکسیف موفقیت‌های زیادی در طراحی و توسعه قایق‌های پرنده بدست آورد مورد توجه پژوهشگران بسیاری قرار گرفت. قبل از آن چندان به آن پرداخته نشده بود و تنها در آموزش‌های هوانوردی به خلبانان آموزش‌های لازم در مواجهه با این پدیده داده می‌شد. از جمله کسانی که در این مورد فعالیت‌های مناسبی جهت شناساندن پدیده و اهمیت آن انجام داده‌اند در ادامه تشریح داده شده‌است.

لیانگ یون: این کتاب با عنوان فناوری اثر سطح در قایق‌های پرنده با بررسی و طبقه بندی شناورهای تندرو و مشخص نمودن جایگاه قایق‌های پرنده در این طبقه بندی، آغاز شده‌است. تاریخچه پرداختن به اثر سطح در این کتاب آمده است. همچنین تاریخچه و روند توسعه این فناوری در شوروی سابق به آن پرداخته شده‌است تا جایی که اقدامات صورت گرفته در سایر کشورها نیز مورد بررسی قرار گرفته است. علل پیدایش و عوامل تأثیر گذار بر اثر سطح، با ذکر مثال به تفسیر بیان گردیده‌است. فرموله

فرود مطرح گردیده است که جهت افزایش سرعت و جدایش سریعتر از سطح، با کاهش سطح خیس بدنه، نیروی درگ را کاهش داده و بر عملکرد آن بیافزاید. این ایده روی برخی از هواپیماهای آب‌نشین اجرا شده که نمونه آن هواپیمای آب‌نشین (آکویا) ساخت کشور فرانسه می باشد ولی برای قایق های پرنده نیز می تواند ایده ای کاربردی باشد تا ضمن برآورده کردن نیازمندی های شناسایی به عنوان متعادل ساز حین پرواز هم عمل کند.



شکل ۲ - نصب هیدروفویل بر روی هواپیمای آب‌نشین آکویا ساخت فرانسه

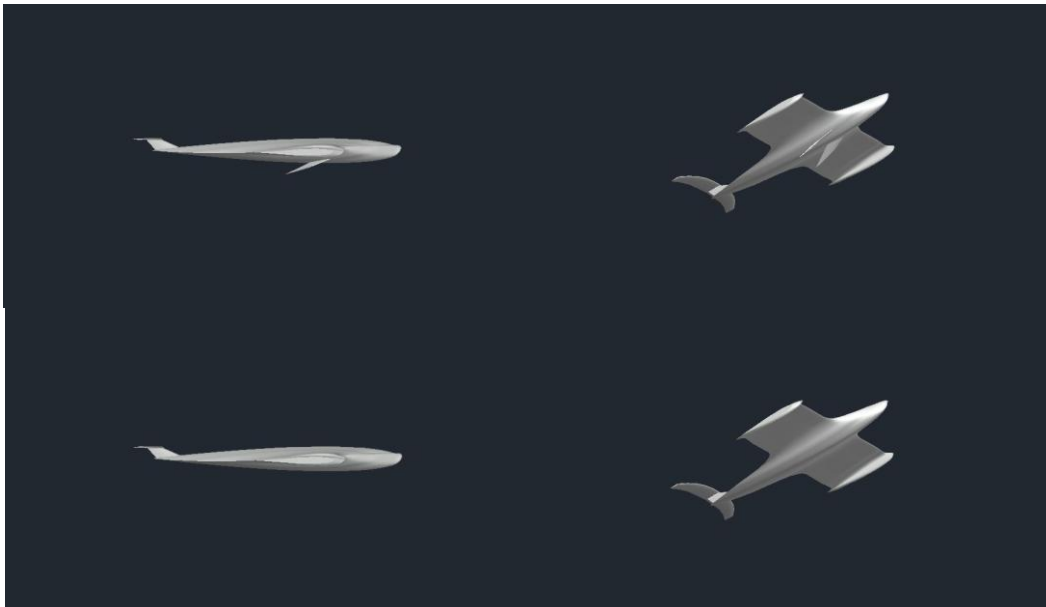
ایرفویل بال NACA2305 می باشد که با ترکیب بدنه که از نوع ایرفویل پنج رقمی با شماره NACA31010 شکل بدنه و بال یکپارچه ای را ایجاد می کند که در نوع خود یک ایده است و باید به آن پرداخته شود تا اختلاف قایق های پرنده که بال و بدنه از هم مجزا دارند با قایق هایی که شامل هندسه بال و بدنه یکپارچه هستند مشخص گردد. زاویه نصب بال به بدنه ۸ درجه می باشد و زاویه دم افقی با افق دارای زاویه ۲- درجه است؛ هیدروفویل ها با زاویه پسگرایی ۴۵ درجه دارای زاویه حمله ۱۰ درجه می باشند. شکل ۳ هندسه مدل ها را نشان داده است. مدل ها به صورت سه بعدی با طول ده متر، که با مقیاس فرضی در واقعیت یکی است رسم گردیده است، تا نیازی به برآورده نمودن نیازمندی های تشابه ابعادی شامل ارضای شرایط مرزی با اعداد بی بعد نباشد.

وی یانگ: به بررسی تأثیر موج بر پرواز قایق پرنده پرداخته است. با شبیه سازی پرواز بر سطح موج، ضرایب آیرودینامیکی و خواص آن ها در نتایج آمده است که نشان از میزان تأثیرپذیری قایق پرنده از موج است. که در دو زاویه پرواز صفر با بردار سرعت موج و زاویه پرواز ۵ با بردار سرعت موج نتایج بیان شده است. در این مقاله با در نظر گرفتن مزایای قایق های پرنده، در فاز شناسایی آن، ایده استفاده از هیدروفویل به جای ارا به

در این مقاله با مقایسه نتایج شبیه سازی و آنالیز سیالاتی مدل های سه بعدی، از دو مدل قایق پرنده با هیدروفویل و بدون هیدروفویل که با فرمت IGES در نرم افزار star ccm+ صورت می گیرد، ایده مورد بررسی قرار گرفته است. لذا روش انجام این مدل سازی به همراه نتایج آن در ادامه مقاله آورده شده است.

۲. طراحی مدل ها

با توجه به اینکه این مقاله، مقایسه ای است شامل در نظر گرفتن دو مدل سه بعدی در نرم افزار سیالاتی، ابتدا هندسه طرح ها باید رسم گردد که در نرم افزار اتوکد پس از رسم با فرمت IGES از نرم افزار خروجی گرفته می شود تا شامل فایل هایی باشد که برای نرم افزار star ccm+ مناسب باشد، ایرفویل های دم و هیدروفویل به صورت متقارن و با شماره ناکای NACA0004 رسم گردیده که این هندسه مقطع دم و هیدروفویل می باشد. سطح مقطع



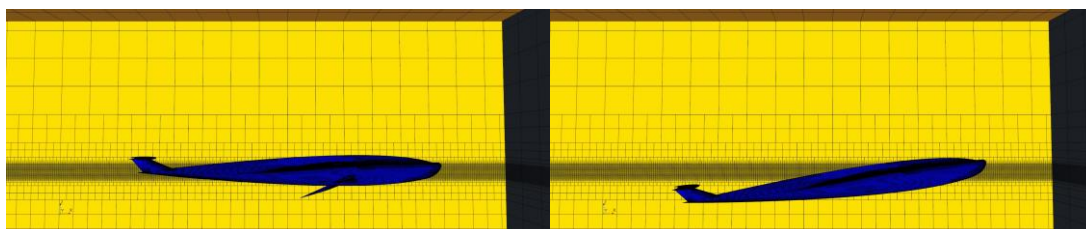
شکل ۳ - هندسه مدل‌ها به صورت دید جانبی و ایزومتریک

۳. شبکه‌بندی و تنظیمات دامنه فیزیکی

با وارد کردن مدل‌ها در نرم افزار star ccm+ ابتدا بلاک مربوط به حوضچه محاسباتی به ابعاد $55 \times 15 \times 20$ حول مدل تشکیل می‌شود، در جهت محور طولی از ۳۵- تا ۲۰ متر، در جهت محور عرضی از ۰ تا ۱۵ متری برای سیمتریک کردن بدنه و حوضچه فرضی اندازه‌گذاری می‌گردد و در ارتفاع نیز از ۱۰- تا ۱۰ متر این بلاک حول مدل ترسیم می‌گردد. با هدف قرار دادن این بلاک، به صورت یک ناحیه در نظر گرفته می‌شود، نوع رنگ بندی آن در پوشه نمایشی مشخص می‌گردد و سپس با ورود به ناحیه‌های ایجاد شده وجه‌های جانبی به نام های Inlet، Outlet، Bottom، Side، Top، Symmetry نامگذاری می‌گردند و در هر وجه نقش آن‌ها به اینگونه مشخص می‌شود، که در وجه Symmetry به صورت

Symmetry Plane و Outlet به صورت Pressure Outlet در نظر گرفته می‌شود و سایر وجوه با خاصیت جریان ورودی در نظر گرفته می‌شود. اندازه مش‌ها به صورت مش‌بندی اتوماتیک برای مدل و حوضچه کشش با در نظر گرفتن بلاکی با عنوان سطح آزاد آب و تنظیم اندازه مش آن تنظیم می‌گردد و سپس عملیات مش‌بندی دامنه محاسباتی انجام می‌گردد.

برای مدل‌های سه بعدی به این شکل مش اتوماتیک در نرم افزار باعث توزیع بهتر مش‌ها برای محاسبات دقیقتر در نقاط برگشتی هندسه می‌گردد. برای مثال به دلیل شکل خاص و زوایا و انحناهای زیاد هیدروفویل ریزترین مش‌ها برای آن در نظر گرفته شده‌است که در روی سطح بال و بدنه این گونه نیست.



شکل ۴ - مش‌بندی مدل‌ها و حوضچه کشش به عنوان دامنه محاسباتی

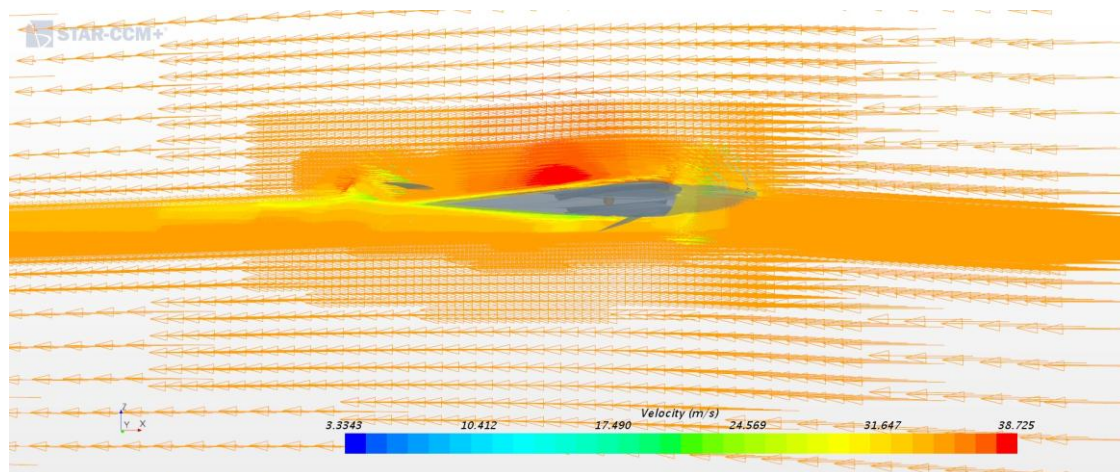
۴. تنظیمات شرایط مرزی

برای تنظیمات شرایط مرزی، مدل‌سازی به صورت جریان غیر یکنواخت (implicit unsteady) و برای

تطبیق بهتر با شرایط آزمایشگاهی از مدل دو معادله‌ای K-Epsilon استفاده می‌گردد زیرا از نتایج تجربی استخراج گردیده و برای این شبیه‌سازی مناسب است.

سرعت بدست آمده است. فرض سرعت یکسان برای جریان آب و هوا برای اطمینان از ارضای همه شرایط حوضچه کشش در واقعیت است تا با ایجاد (Moving Ground) از تشکیل پدیده اثر ونتوری در زیر بال جلوگیری شود.

شبیه‌سازی در دو فاز آب و هوا با مدل aulerian multi phases انجام شده‌است. سطح آب آرام و بدون موج فرض گردیده‌است. برای سرعت آب و هوا ۳۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده‌است و از آنجا که جرم مدل‌های ۱۰۰۰ کیلوگرم فرض شده‌است این سرعت برای شبیه‌سازی مناسب است که پس از انجام چندین شبیه‌سازی این

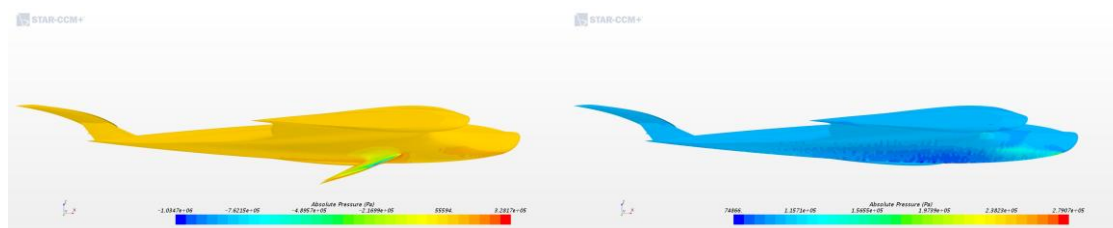


شکل ۵ - جریان در دامنه محاسباتی اطراف مدل

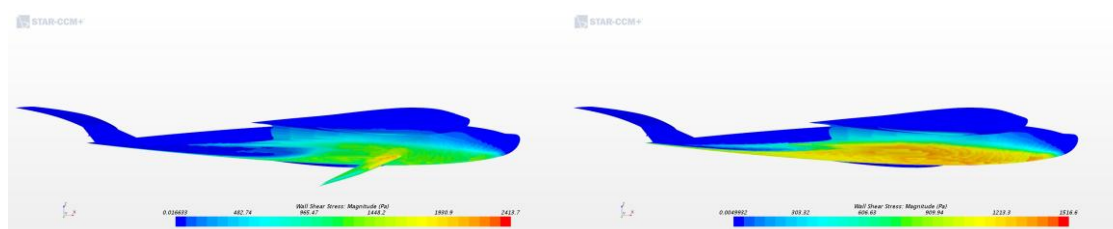
همانگونه که مشهود است و رنگ‌بندی کانتورها نشان می‌دهد میزان تغییرات فشار زیر هیدروفویل (به رنگ قرمز) و پشت هیدروفویل (به رنگ آبی) میزان تغییرات فشار زیادی را نشان می‌دهد که تاثیرات آن را در بخش‌های بعد شامل نمودارها نشان خواهد داد.

۵. نتایج شبیه‌سازی

مقایسه نمودارهای لیفت، درگ، هیو، پیچ و کانتورهای فشار و تنش برشی روی پوسته مدل‌ها و همچنین تاثیری که روی سطح آزاد آب برجا می‌گذارند برای حصول نتیجه بررسی‌های صورت گرفته، برای انتخاب طرح بهتر جهت ارتقای بازدهی بسیار مهم است.



شکل ۶ - کانتورهای فشار کل روی سطوح خارجی هر دو مدل

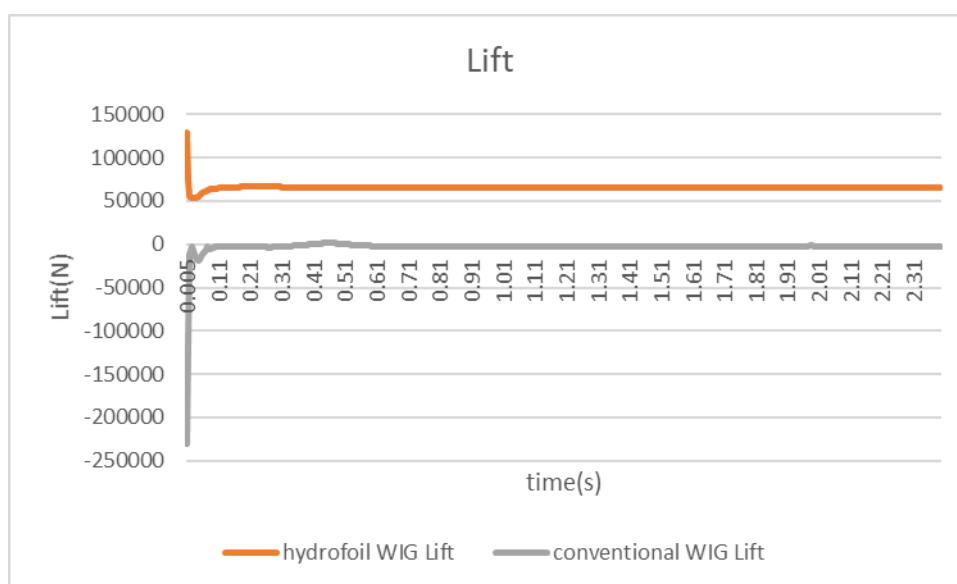


شکل ۷ - کانتورهای توزیع تنش برشی روی دیواره‌های دو مدل

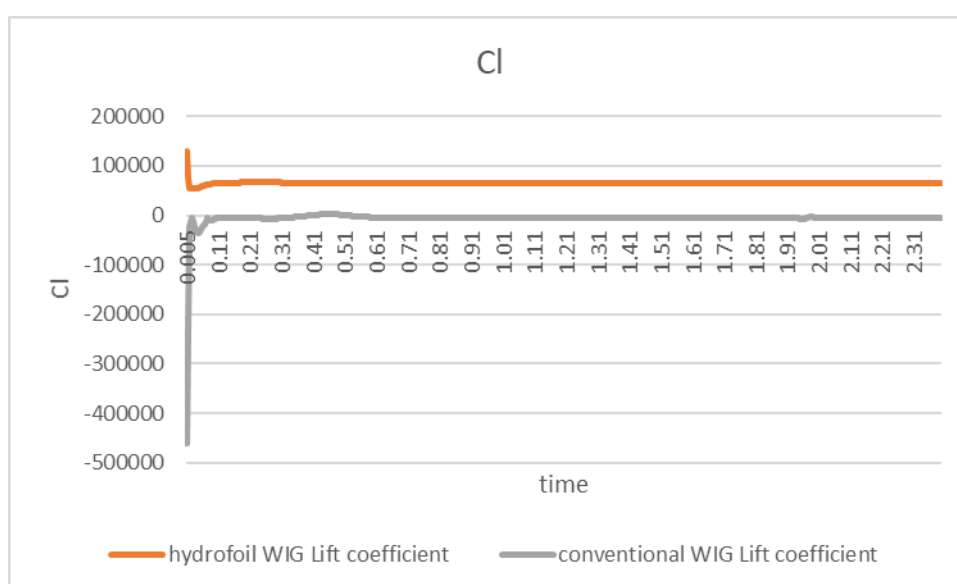
جایی که عدم وجود هیدروفویل باعث منفی شدن لیفت مجموع گردیده است. در این مورد تاثیر مثبت هیدروفویل قابل تایید است. ولی مهمترین عامل قابل قیاس برای شبیه سازی ها اعداد بی بعد نیروها و گشتاورهاست که در شکل ۹ این مقایسه آمده است و این عامل نیز در این مورد تابع نمودارهای لیفت است. برای ضریب لیفت همانگونه که ملاحظه می شود؛ هیدروفویل تاثیر مثبتی دارد.

ابتدا نمودارهای ضریب لیفت و ضریب درگ هر دو مدل به همراه نمودارهای لیفت و درگ آن ها مورد بررسی قرار می گیرد. کلیه نمودارها با شرط مقید نمودن مدل در فاز شناوری، جهت یکسان بودن شرایط قیاس تا پایان شبیه سازی تنظیمات لازم صورت گرفته است. نتایج حاصل برای لیفت در شکل ۸ آمده است.

بررسی نمودارها بیانگر میزان لیفت بیشتر (65690 N) در هنگام پایدار شدن نتایج در مدل با هیدروفویل، در مقایسه با مدل بدون هیدروفویل (-2550 N) است تا



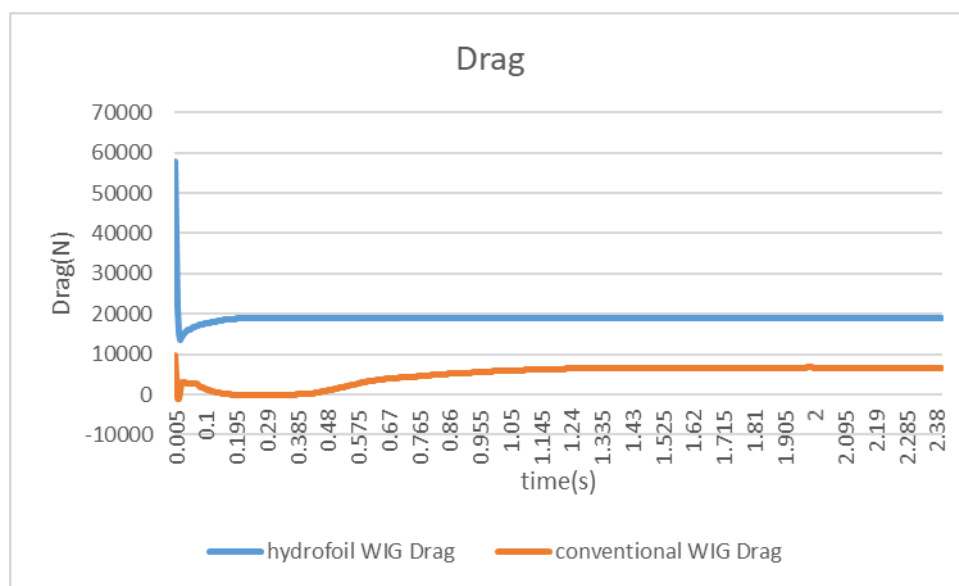
شکل ۸ - مقایسه لیفت برای هر دو مدل در فاز شناوری



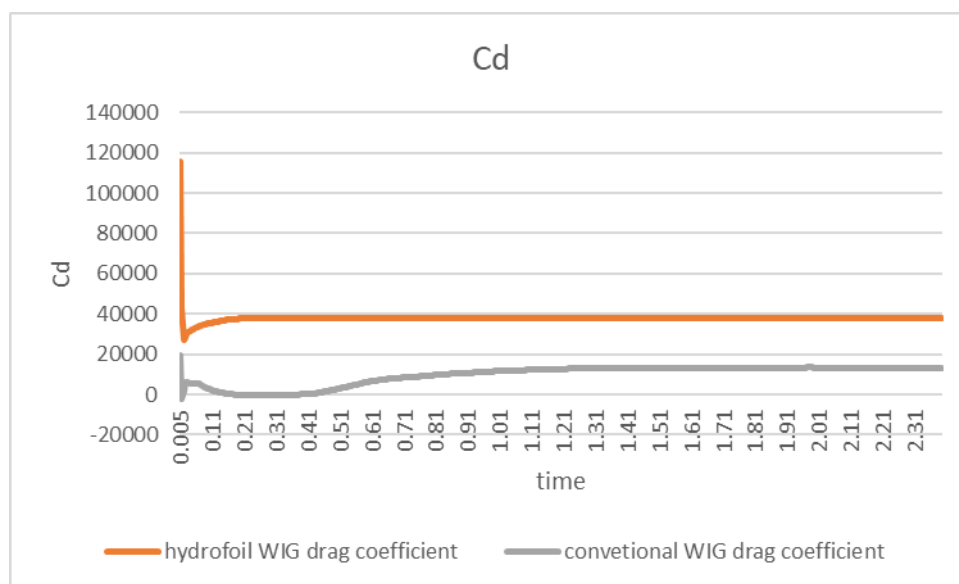
شکل ۹ - نمودار ضریب لیفت برای مدل ها

تحت تاثیر دو فاز آب و هوا قرار دارند در فاز شناوری به دلیل چگالی و لزجت بالاتر آب نسبت به هوا، این قسمت از طراحی را با محدودیت های بیشتری مواجه می کند که ابتکار و ایده های کاهش نیروی درگ از اهمیت زیادی برخوردار است.

برای اجسام محرکی که در ارتباط با سیالات هستند پارامتر نیروی درگ و ضریب آن تعیین کننده میزان تراست مورد نیاز برای حرکت است که تاثیر آن در طراحی اولیه و پیشبرنده مورد نیاز آن برای ایجاد این نیروی تراست مشهود است. برای قایق های پرنده که



شکل ۱۰ - تفاوت میزان نیروی درگ در مدل با هیدروفویل و بدون آن



شکل ۱۱ - مقایسه ضرایب نیروی درگ هر دو مدل

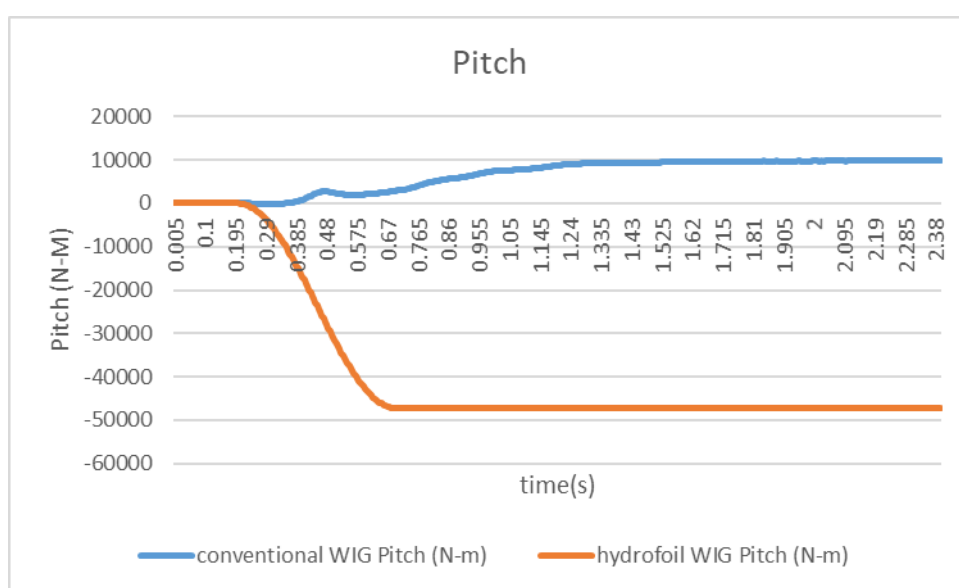
نسبت برای تعیین بازدهی است. با توجه به لیفت منفی که در شکل ۸ نشان داده شد تاثیری برای رد نصب هیدروفویل برای قایق پرنده ندارد. پس پارامتر درگ و ضریب آن که در شکل زیر مورد ارزیابی قرار گرفته است، میزان نیروی درگی است که وسیله پرنده برای افزایش

در این شبیه سازی پس از برقراری پایداری، میزان نیروی درگ در قایق پرنده با هیدروفویل (19070 N) به میزانی بیشتر از مقدار آن برای نیروی درگ در مدل قایق پرنده بدون هیدروفویل (6695 N) است ولی در این مورد عدد بی بعد دیگر نسبت لیفت - درگ است که مهمترین

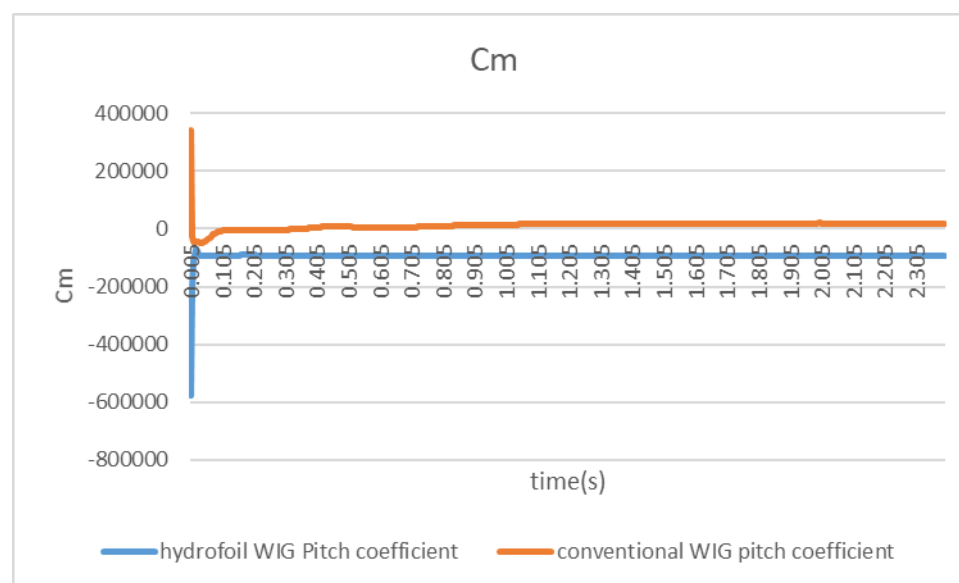
لیفت به میزان قابل ملاحظه، تولید می‌کند. هیدروفویل ها به صورت صفحاتی که با زاویه حمله خاص نیروی لیفتی تولید می‌کند و همزمان در ارتباط با سیال، نیروی اصطکاک پوسته‌ای (تنش برشی) و با توجه به چگالی بالای آب تنش فشاری زیادی ایجاد می‌شود که متناسب با چگالی و مجذور سرعت است.

مقایسه پایداری در این شبیه‌سازی در بررسی میزان گشتاور پیچ ایجاد شده توسط مدل‌ها لحاظ شده‌است و با توجه به تاثیری که بر افزایش یا کاهش زاویه حمله دارد پارامتر مهمی است. کاهش یا افزایش زاویه حمله ارتباط

مستقیم بر افزایش یا کاهش نیروهای لیفت و درگ و متعاقب آن هیو قایق پرنده خواهد داشت؛ بخصوص برای فاز شناوری که nose up یا nose down شدن شناور ممکن است طرح‌ها را با شکست مواجه کند. بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی قایق پرنده فاقد هیدروفویل در صورتی که مقید نبود در مرحله اول در حالت nose down قرار می‌گرفت و باعث میل به غرق شدن شناور می‌گردید، برعکس آن در حالت شناور با هیدروفویل، گشتاور منفی طبق قانون دست راست باعث nose up شدن شناور و افزایش نیروی لیفت می‌شد.



شکل ۱۲ - میزان پیچ ایجاد شده مدل‌ها (بدون هیدروفویل 9780 N-M، با هیدروفویل -47320 N-M)



شکل ۱۳ - مقایسه ضرایب گشتاور پیچ هر دو مدل

paulczysz@sbcglobal.net WIG craft serves niche transportation needs, *Corresponding authorArticle in World Review of Intermodal Transportation Research · August 2011.

[3] Christoph Hiemcke Design of a wing section in ground effect application to high speed ground transportationIowa State University 1994 University Microfilms International A Bel 1 &Howell InformationCompany300North Zeeb Road.Ann Arbor.MI 48106-1346USA313/761-4700 800/521-0600

[4] جان در اندرسون، ترجمه مسعود صدر آملی، موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه امام حسین(ع).

[5]JohnD.Anderson,Jr,AIRCRAFTPERFORMANCEANDDESIGN, Copyright©1999byTheMcGraw-HillCompanies ,Inc. All rights reserved. No part of this publication may be reproduce dor distribute dinany formorby any means ,or store dina database orretrievalsystem, withoutthe priorwritten permission of the publisher.

[6] Anderson, J. D., AIRCRAFT PERFORMANCE AND DESIGN, Tata McGraw-Hill Edition 2010.

[7] Professor Kirill V. Rozhdestvensky Staint-Petersburg State Marine Technical University Lotsmanskaya Aerodynamics of a Lifting System in Extreme Ground Effect 3190008 Saint-Petersburg Russia E-mail: xmastllinfo@pro.spb.su.

[7] <http://airfoiltools.com/airfoil/naca4digit>

[8] David G. Hull, Fundamentals of Airplane Flight Mechanics, The University of Texas at Austin Austin

برای گشتاور نیز ضرایب بی بعد آنها آمده است که پارامتر مهمی است و برای مقایسه، مناسب‌تر از گشتاور پیچ است و در صورتی که در مدلی ضریب بی بعد بالاتر باشد نشانگر بهینه‌تر بودن طرح بوده که با سطح کمتر میزان گشتاور بیشتری تولید نموده است و برای نیروها نیز اینگونه است.

در بررسی همه پارامترهای شبیه‌سازی به نوعی اثبات گردید که مدل قایق پرنده با طرح هیدروفویل دارای مزایای بیشتر از لحاظ ایجاد لیفت بیشتر نسبت به نیروی درگ تولیدی است و نشان می‌دهد با سرعت کمتری به نیروی لیفت مورد نیاز برای برخاست خواهد رسید؛ زمان برخاست را کاهش خواهد داد و طول باند کمتری برای نشست و برخاست نیاز خواهد داشت. در هنگام نشست هیدروفویل‌ها با توجه به کانتورهای شکل‌های ۶ و ۷ به صورت ضربه‌گیر عمل خواهد کرد و ضربات اسلیمینگ را کاهش می‌دهد. به صورت کنترل اتوماتیک میل به پایداری در جهت nose up شدن دارد و از غرق‌شدن‌های خارج از کنترل جلوگیری می‌گردد، در واقع ذاتا پایدار است و طرح مدل با هیدروفویل ایده پربازدهی جهت تحقیق و توسعه و در نهایت کاربردی است.

۶. مراجع

[1] Liang Yun , Alan Bliault , J o h n ny D o o , WIG Craft and Ekranoplan Ground Effect Craft Technology, ISBN 978-1-4419-0041-8 e-ISBN 978-1-4419-0042-5 DOI 10.1007/978-1-4419-0042-5 Springer New York Dordrecht Heidelberg L ondon L i b r a r y o f C o n g r e s s C o n t r o l N u m b e r : 2 0 0 9 3 7 4 1 5 .

[2] Wei Yang Shanghai Automotive Wind Tunnel Centre, Tongji University, Shanghai 201804, China E-mail: david_yangwei@yahoo.cn, Paul A. Czysz Department of Aerospace & Mechanical Engineering, Saint Louis University, St. Louis, MO 63103-1110, USA E-mail:

بررسی مواد مختلف برای استفاده در کاربردهای دریایی

محمدامین رئیسی تنگی^۱، سعید جامعی^۲، رامین صالح پور^۳

۱- کارشناسی ارشد، دانشگاه خلیج فارس

۲- استادیار، دانشگاه خلیج فارس

۳- کارشناسی ارشد، دانشگاه خلیج فارس

چکیده

در این مقاله با گردآوری مقالات مرتبط با مواد مورد استفاده در شناورها و سایر سازه‌های صنعتی، تلاش شد که کاربردهای مختلف مواد، شناسایی و خواص آنها برای استفاده‌های متنوع در این حوزه‌ها بیشتر مورد بررسی قرار گیرد. مواد مختلفی همچون آلومینیوم و آلیاژهای آن، نانومواد، کامپوزیت‌های الیاف طبیعی، فیبر کربن و فایبرگلاس در این مقاله مورد توجه قرار گرفته و خواص فیزیکی و مکانیکی هر یک، به‌طور جامع توضیح داده شد. همچنین در این مقاله به روش‌های نوین برای افزایش طول عمر و استحکام مواد پرداخته شد. به‌عنوان مثال، فرآیند آنادایزینگ برای آلیاژهای آلومینیوم، به‌منظور افزایش طول عمر آنها شرح داده شد. علاوه بر این، نتایج بررسی‌ها نشان داد که ترکیب الیاف شیشه با الیاف طبیعی می‌تواند منجر به افزایش چشمگیر استحکام مواد شود. این یافته‌ها نه تنها در صنعت شناورسازی، بلکه در بهینه‌سازی سازه‌های دریایی و صنعتی دیگر نیز کاربرد دارند و می‌توانند به بهبود عملکرد و دوام آنها کمک کنند.

کلمات کلیدی

آلومینیوم، اندایزینگ، کامپوزیت، الیاف طبیعی، نانومواد، استحکام، فایبرگلاس، فیبر کربن

Comprehensive Analysis of Materials for Marine Applications

Mohammad Amin Raeesi Tangaki¹, Saeed Jamei², Ramin Salehpour³

1,2,3 Persian Gulf University, Faculty of Engineering, Bushehr, Iran

Abstract

In this paper, by collecting related articles on materials used in ships and other industrial structures, the aim was to identify the various applications of materials and better understand their properties for different uses in these fields. Various materials such as aluminum and its alloys, nanomaterials, natural fiber composites, carbon fiber, and fiberglass were discussed in depth, and the physical and mechanical properties of each were explained in detail. The paper also explored modern methods to increase the longevity and strength of these materials, focusing on practical applications. For example, the anodizing process for aluminum alloys was described to significantly enhance their lifespan and durability. Additionally, the results showed that combining glass fibers with natural fibers could notably increase the strength and performance of materials. These findings not only apply to the shipbuilding industry but also have wider implications for optimizing marine structures and other industrial applications, ultimately improving their performance, reliability, and long-term durability.

Keywords

Aluminum, anodizing, composite, natural fibers, nanomaterials, strength, fiberglass, carbon fiber.

از زمانی که بشر برای اولین بار با اقیانوس آبی روبرو شد، کنجکاو آن برای بررسی آنچه در پشت افق است او را وادار به جستجو کرد. اولین قایق‌ها، کانو، کایاک، انواع قایق‌های ماهیگیری و بادبانی کوچک تا دوران طلایی کشتی‌های بزرگ و کلیپرها، معمولاً از مواد طبیعی با نقش اصلی چوب ساخته شدند [۱]. بشر از گذشته تاکنون در حال پیشرفت و تکامل بوده است. از جمله مواردی که می‌توان به آن اشاره کرد پیشرفت در صنعت کشتی‌سازی می‌باشد که از چوب و مشتقات آن به سمت فولادهای دریایی رو آورد و اخیراً از آلیاژهای آلومینیوم و کامپوزیت‌ها به علت وزن کم در مقابل استحکام بالای آنها و همچنین در بعضی موارد به علت سازگار بودن با محیط استفاده می‌کند. از اوایل دهه ۱۹۹۰ آلیاژهای آلومینیوم در ساختار کشتی‌های مسافربری و تجاری با سرعت متوسط تا بالا که در مسیرهای دریایی کوتاه کار می‌کردند مورد استفاده قرار گرفت. در بیست سال اخیر استفاده از آلومینیوم برای ساخت شناورها افزایش یافته است و همچنین پتانسیل آلومینیوم به عنوان یک ماده قابل دوام برای ساخت کشتی‌های پرسرعت و اقیانوس‌پیما باعث شده که استفاده از آن همچنان ادامه داشته باشد [۲]. همان‌گونه که میدانید اکسید آلومینیوم از آلومینیوم طبیعی مقاوم‌تر است. از طرفی اکسید شدن آلومینیوم به صورت طبیعی به علت نازک بودن لایه اکسیدی مقاومت خوبی ندارد که با روش‌های مختلفی به افزایش قطر لایه اکسیدی می‌پردازند [۳]. تطبیق‌پذیری و کاربرد ویژه آلیاژهای آلومینیوم همراه با مزایای متعدد از جمله قابلیت ماشین‌کاری، استحکام و مقاومت در برابر خوردگی آنها را برای محصولات و بازارهای مختلف مناسب می‌کند [۴، ۵]. آلومینیوم و آلیاژهای آن به عنوان مواد بسیار سودمند برای ساخت وسازهای دریایی و سازه‌های فراساحلی توسط معماران دریایی و مهندسان اقیانوس شناخته می‌شوند [۴، ۶]. وزن کم، خواص مکانیکی بهتر و مقاومت در برابر خوردگی باعث به کارگیری آن در صنعت کشتی‌سازی شده است. با استفاده از آلومینیوم، معماران دریایی می‌توانند کشتی‌ها و قایق‌هایی با قابلیت سرعت بالا، عمر بیشتر، تحمل وزن بیشتر و هزینه‌های نگهداری کم و همچنین ارزش بازیافت بالا طراحی کنند [۷].

آلومینیوم و آلیاژهای آن نیز مزایای قابل توجهی در کاهش وزن سازه و نگهداری بدنه دارند [۸]. از دیگر موادی که بیش از پیش مورد توجه کشتی‌سازان قرار گرفته است کامپوزیت‌ها هستند. همان‌طور که قرن بیستم انقلاب پلیمرهای مصنوعی را به ارمغان آورد نوع جدیدی از مواد که در مقیاس جهانی سنتز شده‌اند، بازار را تحت سلطه خود درآوردند. پلاستیک وارد صنعت کشتیرانی شد و مهندسی طراحی را به طور قابل توجهی تغییر داد [۹، ۱۰]. ارزان بودن، شکل‌پذیری راحت و در دسترس بودن، به زودی آنها را به مواد ایده‌آل برای بدنه قایق و تجهیزات کوچک تبدیل کرد [۱۰]. در دهه‌های اخیر، علاقه روزافزون به مواد پایدار، محققان و صنایع را به این سمت سوق داده است. توسعه و بهره‌برداری از سیستم‌های کامپوزیتی برای کاربردهای ساختاری با ترکیب بخش بزرگ‌تری از مواد طبیعی، به ویژه در فاز تقویت‌کننده سازه‌ها، پیشرفت چشم‌گیری داشته است [۱۱، ۱۲]. شناورها، سازه‌های ساحلی و سایر اجزای دریایی به چالش‌های زیست‌محیطی مرتبط هستند، بنابراین باید از موادی که مقاومت بالایی از خود نشان می‌دهند و نیاز به تعمیر و نگهداری کمی یا بدون تعمیر و نگهداری برای دوره‌های زمانی طولانی هستند استفاده کرد. علاوه بر این، سبک بودن، مقاومت در برابر خوردگی، سرعت و قابلیت اطمینان از جمله مواردی هستند که هنگام طراحی باید به آنها توجه شود [۱۳]. به طور خاص، امروزه الیاف طبیعی جایگزین قابل توجهی برای کامپوزیت‌های الیاف شیشه، نه تنها به دلیل پایداری، بلکه به دلیل چشم‌انداز اقتصادی مثبت آنها محسوب می‌شوند [۱۱، ۱۴، ۱۵]. تقاضاهای رو به رشد صنعتی و تلاش برای مواد پایدار و سبز فرصتی عالی در تحقیقات کامپوزیت الیاف طبیعی ارائه می‌دهد. ماده اصلی تشکیل‌دهنده فیبر طبیعی سلولز است. مطالعات، ارتباط مثبتی بین مدول یانگ و استحکام کششی با محتوای سلولز نشان می‌دهد [۱۶، ۱۷].

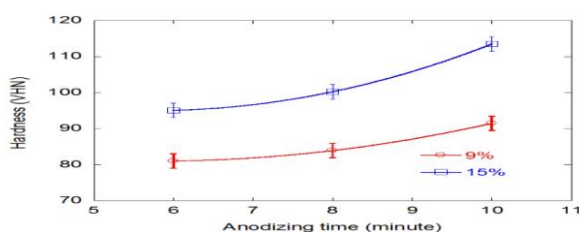
۲- آلومینیوم

۲-۱ اندازینگ آلومینیوم

{ Soekrisno, 2014 } با اندازینگ کردن ورق آلومینیوم با استفاده از محلول H_2SO_4 و نیروی الکتریکی ۲۰ ولتی

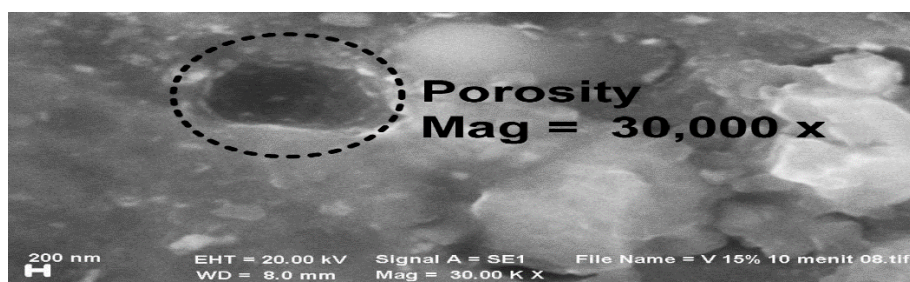
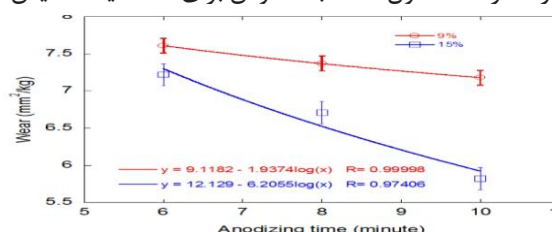
کمتری می‌دهد. شکل ۲ تصویر اندازینگ سطح بدون پولیش کردن آن، در ۱۵٪ محلول H_2SO_4 به مدت ده دقیقه را نشان می‌دهد همچنین تخلخل در سطح مشاهده می‌شود که می‌توان مشاهده کرد که قطر آن حدود هشت میکرومتر است.

تخلخل مهم است، زیرا بدون تخلخل، ضخامت لایه اکسیدی نمی‌تواند ایجاد شود. شکل ۳ تصویر مقطع ضخامت لایه اکسید را با استفاده از SEM (برحسب میکرومتر) نشان می‌دهد که در پنج نقطه اندازه‌گیری شده است. از چپ به راست: ۲.۷۴۲ - ۴.۲۹۲ - ۲.۰۱۱ - ۱.۸۱۵ و ۲.۴۴۸ میکرومتر و به‌طور میانگین ۲.۶۶۲ میکرومتر است.

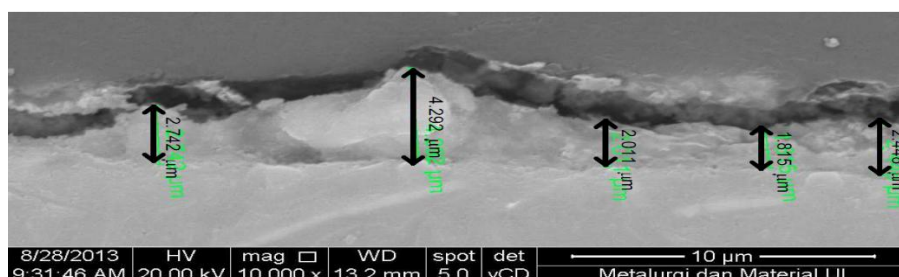


شکل ۱- سختی و سایش ورق آلومینیوم در محلول با غلظت ۹ و ۱۵ درصد

به‌سختی بیشتر و افزایش قطر لایه اکسیدی دست یافت. او لایه اکسیدی را با دستگاه SEM بررسی کرد و به این نتیجه رسید که کیفیت سطح با افزایش محلول افزایش میابد و همچنین برای زمان طولانی‌تر انداز کردن بهتر است. در نهایت به نتیجه کلی رسید که فرایند انداز کردن در محلول ۱۵ درصد H_2SO_4 به مدت ۱۰ دقیقه، سختی کافی و سایش بهتر پروانه را به همراه دارد و ممکن است عمر آن را دو برابر کند. شکل ۱ سختی سطح را پس از انداز کردن نشان می‌دهد. داده‌ها خطی نیستند، بلکه درجه دوم هستند. از آن می‌توان دریافت که برای سختی بیشتر، انداز در ۱۵٪ محلول H_2SO_4 بهتر از آنودایز در ۹٪ است. شکل ۱ نشان می‌دهد که برای سایش، آنودایز کردن در ۱۵ درصد محلول H_2SO_4 بهتر از آنودایز کردن در ۹ درصد محلول است. به‌خصوص برای ۱۰ دقیقه، سایش



شکل ۲- تخلخل بر روی سطح انداز شده



شکل ۳- ضخامت لایه اکسیدی

۲-۲ آلیاژهای آلومینیوم

{Wahid, 2020} تحقیق خود را بر روی آلیاژهای آلومینیوم سری 5xxx, 6xxx (AAs) شروع کرد در پایان کار به چند نتیجه اساسی رسید:

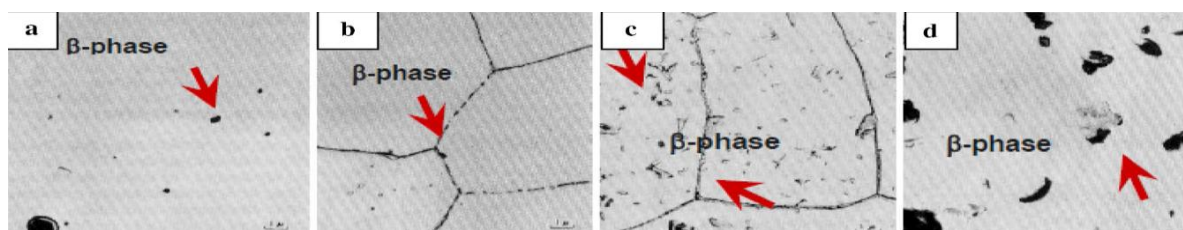
-آلیاژهای آلومینیوم از نظر وزن حدود ۳ برابر سبک‌تر از فولاد است.

-به دلیل نسبت استحکام به وزن بالا همراه با مقاوم در برابر خوردگی این آلیاژها از آنها در قسمت‌های مختلف از جمله بدنه، روسازه‌ها، پانل‌های عرشه و ... می‌توان استفاده کرد. -انداز کردن و روکش کاری از جمله روش‌هایی هستند که می‌توان با استفاده از آنها عمر آلیاژها را افزایش داد.

-برای جوشکاری این آلیاژها از طریق فرایند جوشکاری ذوبی GMAW به مشکل می‌خوریم بنابراین برای جوشکاری این نوع آلیاژها باید از روش پرتو انرژی GTAW استفاده کرد.

-جوشکاری FSW (جوشکاری اغتشاشی اصطکاکی به کمک منبع حرارتی) به‌عنوان یک روش بسیار کارآمد در نظر گرفته می‌شود [۴].

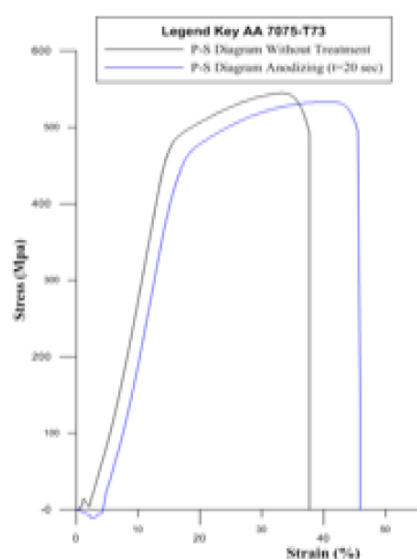
حساسیت به خوردگی AAها به شدت تحت تأثیر شکل و توزیع ذرات β -phase در ساختار است. توزیع لایه‌ای پیوسته β -phase دارای نرخ خوردگی بالایی است. (شکل ۵ b,c) درحالی‌که توزیع تصادفی ذرات β -phase منجر به نرخ بالایی مقاومت در برابر خوردگی می‌شود (شکل ۵ a,d).



شکل ۵- ریزساختار AA 5356-H12، a,d مقاومت در برابر خوردگی؛ b,c مستعد خوردگی

در جدول ۱ خواص فیزیکی و مکانیکی پنج ماده پرکاربرد در صنعت کشتی‌سازی آورده شده است.

{M AL-Sudani,} تحقیق خود را با هدف بررسی تأثیر استفاده از فرایند اندازینگ بر میزان خوردگی، خواص مکانیکی و همچنین طول عمر خستگی آلیاژ آلومینیوم انجام داد. نتایج به‌دست‌آمده، نشان‌دهنده کاهش نرخ خوردگی (۱۵۵.۰۶٪) در مقایسه با انداز نشده، افزایش سختی (۲۱.۵۴٪) و کاهش جزئی در طول عمر خستگی (۷.۷٪) به دلیل انداز کردن به مدت ۲۰ دقیقه بود [۱۸]. شکل ۴ نشان می‌دهد که با انداز کردن آلومینیوم طول عمر بیشتر می‌شود نسبت به آلومینیوم انداز نشده.



شکل ۴- نمودار S-N برای آلومینیوم انداز شده و انداز نشده

استفاده از کامپوزیت‌های نانو یا فیبر کربن در پروژه‌هایی با نیاز بالا به استحکام و وزن پایین توصیه می‌شود. در مقابل، کامپوزیت‌های الیاف طبیعی گزینه‌ای اقتصادی و سازگار با

جدول ۱- مقایسه خواص مکانیکی و فیزیکی مواد

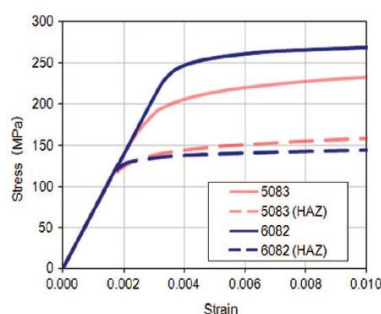
ماده	چگالی (g/cm ³)	استحکام کششی (MPa)	مدول یانگ (GPa)	مقاومت به خوردگی	نسبت استحکام به وزن
آلومینیوم ۵۰۸۳-H116	2.66	350-275	70	خوب	بالا
فایبرگلاس (GFRP)	2.0-1.8	350-200	30-20	متوسط تا خوب	متوسط
فیبرکربن (CFRP)	1.6	1500-500	200-70	خوب	بسیار بالا
الیاف طبیعی (کامپوزیت)	۱.۵-۱.۲	۲۰۰-۵۰	25-10	پایین تا متوسط	پایین تا متوسط
نانو کامپوزیت گرافنی	حدود ۱.۸	۲۰۰۰-۸۰۰	1000-150	بسیار خوب	بسیار بالا

رطوبت بالا، حساسیت به شرایط محیطی و دوام کم از ضعف‌های آنهاست. برای بهبود دوام این مواد در محیط‌های دریایی، از روش‌هایی مانند اصلاح شیمیایی (تیمار قلیایی یا سیلان‌ها)، پوشش‌دهی ضدآب و ترکیب با الیاف مصنوعی مانند شیشه استفاده می‌شود.

{Collotta, 2016} کار خود را با تحقیق بر روی کامپوزیت‌های تقویت‌شده توسط الیاف طبیعی شروع کرد همچنین وی مقایساتی بین کامپوزیت‌های تقویت‌شده با الیاف شیشه و کامپوزیت‌های الیاف طبیعی انجام داد. تجزیه و تحلیل FEM بر روی قایق طراحی و ساخته شده، انتخاب موفق مواد را برای کاربرد واقعی نشان داد همچنین این نتیجه را گرفت که بیش از ۲۸ درصد هزینه نسبت به کامپوزیت‌های فیبر کربن صرفه جویی می‌شود. به منظور تجزیه و تحلیل پایداری اقتصادی کامپوزیت طبیعی توسعه یافته، هزینه‌ها برای تولید ۱ مترمربع کامپوزیت است. از آنجایی که فرآیند تولید در هر دو مورد یکسان است، تفاوت فقط در مورد مواد مورد استفاده رخ می‌دهد.

جدول ۲ اختلاف قیمت بین کامپوزیت‌های مرسوم با کامپوزیت‌های طبیعی جدید را نشان می‌دهد که همان‌طور که مشاهده می‌کنید کامپوزیت‌های طبیعی جدید بسیار به صرفه‌تر از کامپوزیت‌های مرسوم هستند و با استفاده از آنها می‌توان به‌طور قابل ملاحظه‌ای در قیمت‌ها صرفه جویی کرد. هزینه حاصل برای کامپوزیت استاندارد 168 €/m² است، در حالی که برای کامپوزیت طبیعی 232 €/m² است. این نتیجه پایداری اقتصادی مواد طبیعی ابتکاری توسعه یافته را تضمین می‌کند، زیرا امکان صرفه جویی در هزینه را تا ۲۸ درصد فراهم می‌کند.

{Benson, 2011} بر روی تأثیر پارامترهایی از جمله نوع آلیاژ، نقص هندسی، نرم شدن در ناحیه متأثر از گرما، تنش‌های پسماند، فشار جانبی و بار دومحوری تحقیقات خود را آغاز کرد. او به این نتیجه رسید که اثرات فشار جانبی و بارگذاری دومحوری تأثیر قابل توجهی بر مقاومت فروپاشی و منحنی بار کوتاه شدن صفحات آلومینیوم دارد. خواص مواد در HAZ با آزمایش مکانیکی تعیین می‌شود، اگرچه چندین تناقض بین آزمایش‌ها، از جمله طول نمونه آزمایش و روش تشکیل کوپن، به این معنی است که داده‌های منابع مختلف دارای تنوع زیادی هستند. در این بخش یک بلوک HAZ ایده‌آل با ضریب شکست ۰.۶۷ برای 5083-H116 و ۰.۵۳ برای 6082-T6 انتخاب شده است. منحنی‌های تنش-کرنش مواد حاصل در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- نمودار تنش-کرنش آلیاژهای ۵۰۸۳-H116 and

۳- کامپوزیت‌ها

۳-۱ الیاف طبیعی

الیاف طبیعی مورد استفاده شامل کنف، نارگیل، کتان، چتایی و برگ موز هستند. این الیاف به دلیل وزن پایین، تجزیه پذیری زیستی و هزینه کم مورد توجه‌اند؛ اما جذب

جدول ۲- مقایسه قیمت بین کامپوزیت‌های مرسوم و کامپوزیت‌های طبیعی جدید

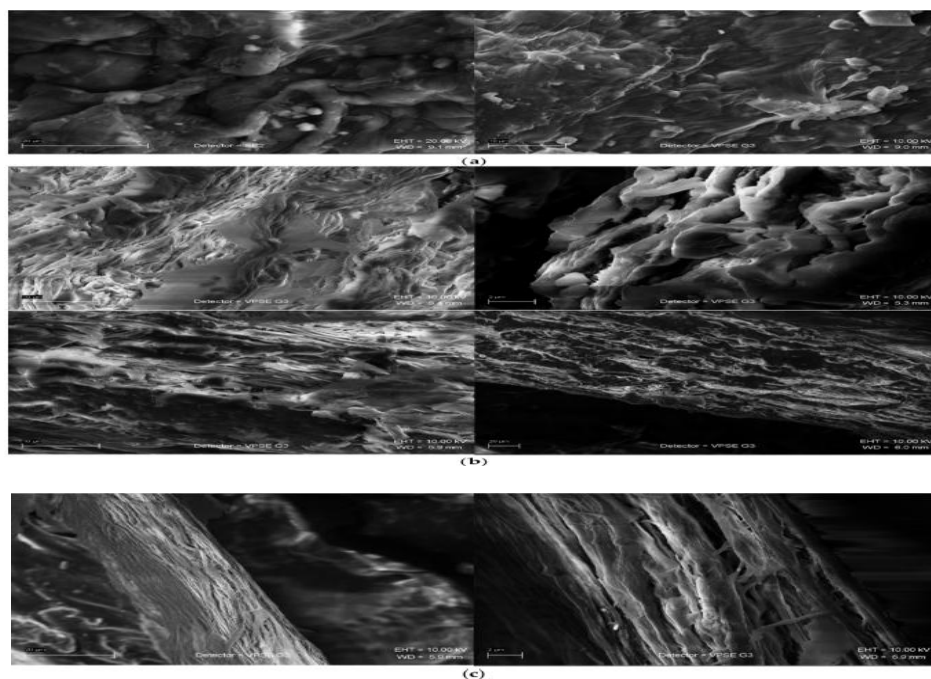
New Natural Composite	Unit cost [€/m ²]	Conventional Sandwich	Unit cost [€/m ²]
Flax (UD +0)	17	Carbon fiber (UD +0)	25
Flax (BD +45-45)	21	Carbon fiber (BD +45-45)	27
Flax (UD +90)	17	Carbon fiber (UD +90)	25
Cork 10 (5 mm)	8	PVC Foam (10 mm)	40
Cork 10 (5 mm)	8	Carbon fiber (UD +90)	25
Flax (UD +90)	17	Carbon fiber (BD +45-45)	27
Flax (BD +45-45)	21	Carbon fiber (UD +0)	25
Flax (UD +0)	17	Resin carbon uptake	6,84
Resin flax uptake	7,52	Resin PVC foam uptake	30,76
Resin cork uptake	33,84	Microballons and silica	0,87
Microballons and silica	0,87	-	-
Total	168	Total	232

و تولید در آن تأثیر دارد. الیاف‌های طبیعی همچنین دارای نسبت ابعاد مطلوب و چگالی کم هستند. عملکرد سلولزی به‌شدت به نسبت بین لیگین (جذب رطوبت کمتر) و همیسلولز (پایداری حرارتی و زیستی بهتر، تخریب کمتر UV) بستگی دارد. شکل ۷ نمای کلی از تصاویر میکروسکپ الکترونی رومیزی (SEM) الیاف نانو سلولز از منابع طبیعی انتخاب‌شده را نشان می‌دهد. تجزیه و تحلیل طیف‌سنجی پرتو ایکس برای تصفیه و پیش‌تصفیه که برای این نوع مواد معمول است، انجام‌شده و مورد تأیید قرار گرفته است.

{Dąbrowska, 2022} از جمله کسانی بود که بر روی کامپوزیت‌های سبز تحقیق کرد. او کامپوزیت‌های الیافی مبتنی بر روغن گیاهی برای بدنه قایق‌ها را بررسی کرد. سبک‌تر بودن آن حدود ۴۰ درصد از الیاف شیشه، قابلیت جذب لرزش و صدا، ایمن بودن و همچنین سازگار بودن با محیط از جمله عواملی بود که در پایان تحقیق خود به آن دست یافت. الیاف ممکن است مستقیماً از محصولات کشت‌شده (کتان، کنف) یا ضایعات کشاورزی (برگ آناناس، پوست نارگیل) استخراج شود. جدول ۳ مقادیر خواص محصولات نهایی را نشان می‌دهد که تمامی مراحل کشت

جدول ۳- مشخصات فیبرهای طبیعی

Fibre	Elastic Modulus [GPa]	% Elongation	Tensile Strength [MPa]	Young Modulus [GPa]	Density [g/mL]
Hemp	70	1.6	550-900	30-80	1.48
Flax	60-80	1.2-3.2	345-2000	15-80	1.45
Sisal	38	2-14	300-700	10-30	1.33-1.5
Kenaf		1.6	200-900	22-60	1.3
Jute		1.5-1.8	300-700	13-55	1.3
Ramie		2-3	400-938	61-128	1.5
Bamboo		1.4	190-600	21-50	0.6-0.9
Banana		1-3.5	161-780	7.6-9.4	0.72-0.88
Coconut			150-180	4-6	1.2
Pineapple		0.8-1	126.6	4.4	1.07
Coir		15-40	175	4-6	1.2
E glass	73	3.4	2400	72	2.55
Kevlar 29	70.5		2920-4100	130	1.44
Nylon 66	3.5		85		1.14
1080 steel	207		2550		7.9
Carbon fibre		1.3-1.8	~4000	235	1.4



شکل ۷- تصاویر SEM نانو سلولز از (a) سیر، (b) پیاز، (c) آناناس

و ضریب پواسون برای مواد مختلف NFRP در شکل‌های ۸-۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۴- مشخصات فیبرها

Property	Pineapple Fiber	Bamboo Fiber	Waste Silk Fiber
E_{fl} (N/m ²)	1.16E+09	3.00E+09	4.50E+09
G_{fl2} (N/m ²)	9.00E+08	1.00E+09	2.00E+09
ν_{12}	0.25	0.32	0.30
Property	Silk Fiber	Jute Fiber	Abaca Fiber
E_{fl} (N/m ²)	5.00E+09	1.06E+09	9.57E+08
G_{fl2} (N/m ²)	2.50E+09	7.00E+08	8.00E+08
ν_{12}	0.32	0.28	0.15

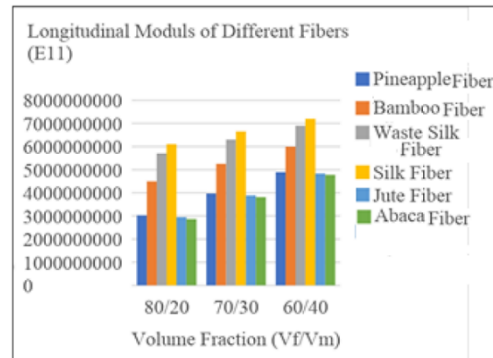
از این خواص مکانیکی، الیاف ابریشم جایگزین جذابی برای فیبر شیشه است. خواص مکانیکی محاسبه شده برای کامپوزیت در جدول ۵ آورده شده است. با استفاده از معادلات Halpin-Tsai، استحکام کامپوزیت الیاف ابریشم ۴۶.۸ مگاپاسکال به دست آمد.

{Renjith, 2019} به مقایسه بین کامپوزیت‌های الیاف طبیعی مانند بامبو، موز و الیاف ابریشم با فیبر شیشه پرداخت. علاوه بر وزن کم و بازیافت بهتر این نوع کامپوزیت‌ها او به کمک آنالیز توسط انسیس به این نتیجه رسید که ضریب ایمنی کامپوزیت‌های NFRP در محدوده قابل قبولی قرار دارد، شرایط پایداری را کاملاً ارضا می‌کند و همچنین بین الیاف‌های موردبررسی الیاف ابریشم برای کاربردهای ساختاری مناسب‌تر است. دو نوع الیاف برای کامپوزیت‌ها استفاده می‌شود: ساخت دست بشر و طبیعی. الیاف طبیعی، همان‌طور که از نام آن پیداست، به‌طور طبیعی تکامل می‌یابند. انواع الیاف طبیعی به همراه جزئیات در جدول ۴ آورده شده است. خواص مواد به‌دست‌آمده از محاسبات در زیر آورده شده است. در میان الیاف طبیعی، ابریشم خواص مکانیکی خوبی از خود نشان می‌دهد. دهد.

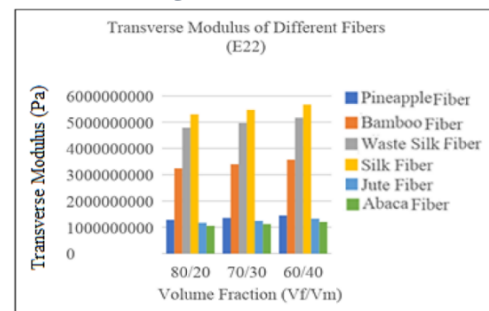
مدول الاستیسیته و نسبت پواسون دو ویژگی مستقل موردنیاز برای یک ماده همسانگرد هستند. فیبر شیشه به‌عنوان یک ماده همسانگرد برای آنالیز در نظر گرفته می‌شود. کامپوزیت NFRP گرفته‌شده برای تجزیه و تحلیل به‌عنوان یک ورقه یک‌طرفه در نظر گرفته شد. ۱۰ لایه لامینا روی هم چیده شده‌اند تا مدل ارتوتروپیک ایجاد شود؛

جدول ۵- مشخصات کامپوزیت‌ها

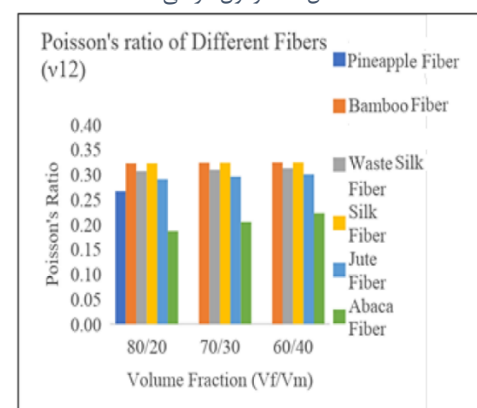
Property	Pineapple Fiber	Bamboo Fiber	Waste Silk Fiber
E_{11} (N/m ²)	4.90E+09	6.00E+09	6.90E+09
E_{22} E_{11} (N/m ²)	1.45E+09	3.58E+09	5.17E+09
G_{12} E_{11} (N/m ²)	9.61E+08	1.05E+09	1.76E+09
ν_{12}	0.27	0.32	0.31
Property	Silk Fiber	Jute Fiber	Abaca Fiber



شکل ۸- مودول طولی



شکل ۹- مودول عرضی



شکل ۱۰- نسبت پواسون

{Misri, 2010} از ترکیب الیاف نخل قند با شیشه استفاده کرد و آزمایش ضربه و کشش مطابق با استاندارد

ASTM 5083, ASTM D256 انجام داد وی نتیجه گرفت که ترکیب این دو الیاف خواص کششی را بهبود می‌بخشد و همچنین روش قالب‌گیری فشرده برای استفاده در ساخت قایق کوچک از کامپوزیت‌های الیاف طبیعی مناسب‌تر است [19].

{Windyandari, 2022} از ترکیب الیاف شیشه و نارگیل (HCGFRP) برای طراحی قایق ماهیگیری استفاده کرد. او آنالیزهای خود را در انسیس انجام داد و به این نتیجه رسید که آسیب برخورد نمی‌تواند باعث نشت بدنه شود و دیواره برخورد در تست‌های مختلف سالم مانده است پس می‌توان از (HCGFRP) به‌عنوان یک ماده جایگزین استفاده کرد [۲۰]. تولید نمونه‌های هیبریدی نارگیل و الیاف شیشه، با تولید ورقه‌هایی از آن آغاز شد. همان‌طور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، فیبر نارگیل از طریق فشار و کمی مایع رزین الیاف نارگیل به هم چسبانده شد. فیبر نارگیل درست در وسط لمینیت قرار داده شده است. ترتیب مراحل ساخت کامپوزیت شیشه-نارگیل را می‌توان در شکل ۱۲ مشاهده کرد.



شکل ۱۱- ورقه فیبر نارگیل



شکل ۱۲- فرایند دستی ساخت کامپوزیت هیبریدی شیشه-نارگیل (HCGFRP)

استحکام کششی هر یک از نمونه‌های آزمایش شده را نشان می‌دهد. جدول ۷ درصد ترکیبی رزین و سخت کننده برای هر یک از نمونه‌های جدول ۶ را نشان می‌دهد. جدول ۸ مقادیر مقاومت کششی مواد کامپوزیت پلیمری (PCM) تقویت شده با فایبرگلاس را نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که مواد مرکب پلیمری تقویت شده با فایبرگلاس استحکام را تغییر می‌دهد که همراه با افزودن تقویت کننده به ماده منجر به افزایش مقاومت کششی می‌شود. بر اساس جدول ۸ نیز مقادیر استحکام کششی تولید شده برای هر نمونه A1 تا A5 از ۴ مگاپاسکال تا ۱۲ مگاپاسکال متفاوت است.

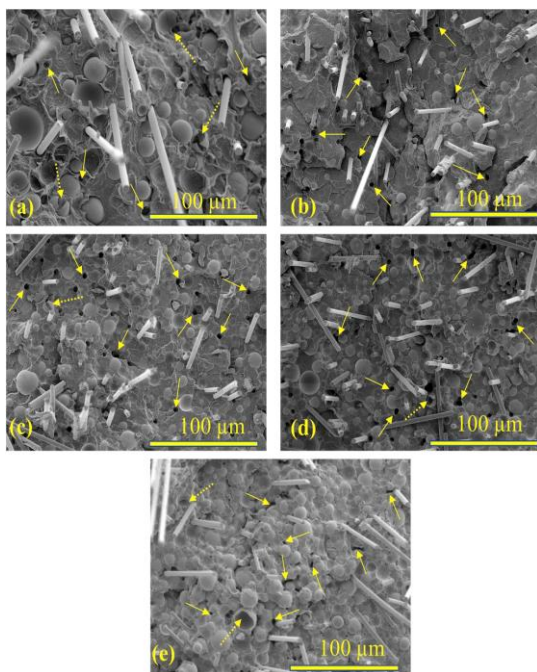
ترکیب الیاف شیشه با الیاف طبیعی موجب بهبود خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها می‌شود. الیاف شیشه سختی و مدول بالایی دارند و تنش‌های وارده را بهتر در ماتریس منتقل می‌کنند. نسبت‌های ۳۰:۷۰ یا ۴۰:۶۰ بین الیاف شیشه و طبیعی در تحقیقات عملکرد مناسبی نشان داده‌اند. این ترکیب منجر به کاهش جذب رطوبت، افزایش استحکام خمشی و دوام بیشتر می‌شود. روش‌های نوینی مانند افزودن نانوذرات (نانوگرافن، نانورس)، اندایزینگ فلزات مجاور، یا استفاده از بافت‌های سه بعدی نیز به افزایش عملکرد این ترکیبات کمک می‌کنند.

۲-۳ فایبرگلاس و فیبر کربن

{Ruzuqi, 2020} بر روی استحکام کششی مواد کامپوزیت پلیمری تقویت شده با فایبرگلاس تحقیق کرد. او آزمایش‌های خود را برای تعداد لایه‌های مختلف و درصد وزنی مواد سخت کننده آغاز کرد و به این نتیجه رسید که هر چه تعداد لایه‌ها بیشتر باشد استحکام کششی افزایش میابد و همچنین با افزایش وزن سخت کننده استحکام کاهش میابد. طبق آزمایش‌های او دریافت که بهترین حالت آن هشت لایه تقویت کننده با محتوای ماتریس ۰.۵ درصد وزنی مواد سخت کننده می‌باشد [۲۱]. جدول ۶ کاهش در

جدول ۶- مواد کامپوزیت تقویت شده با فایبرگلاس

No.	Description	Lamination Arrangement				
		Sample A ₁	Sample A ₂	Sample A ₃	Sample A ₄	Sample A ₅
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1.	Order of layers:					
	Layer 1	CSM 300	CSM 300	CSM 300	CSM 300	CSM 300
	Layer 2	WR 600	CSM 450	CSM 450	CSM 450	CSM 450
	Layer 3	CSM 450	WR 600	WR 600	WR 600	WR 600
	Layer 4	CSM 450	CSM 450	CSM 450	CSM 450	CSM 450
	Layer 5		CSM 450	WR 600	WR 600	WR 600
	Layer 6			CSM 450	CSM 300	CSM 300
	Layer 7				CSM 450	WR 600
	Layer 8					CSM 450



شکل ۱۳- تصاویر SEM از کامپوزیت‌های PP با ۸ درصد وزنی SCF

(a)BM/C8/G5, (b)BM/C8/G10,
(c)BM/C8/G20, (d)BM/C8/G30, (e)
BM/C8/G40

{Håkansson, 2018} بر روی استفاده از مواد و روش‌هایی برای سبک‌سازی شناور همراه با حفظ استحکام آن تحقیق خود را شروع کرد. او در تحقیق خود به استفاده از کامپوزیت‌ها به‌ویژه فیبر کربن و همچنین پانل‌های ساندویچ دست یافت و همچنین معایب و مزایای این روش را شرح داد [۲۳].

معایب:

- هزینه‌های اولیه بالا.
- قابلیت اشتعال و خطر آتش‌سوزی مواد کامپوزیتی.

مزایا:

- ساختارهای فیبر کربن به‌طور متوسط تقریباً ۲۰-۳۰ درصد سبک‌تر از ساختارهای فیبر شیشه هستند.
- ساندویچ پانل‌ها از نظر وزن بهتر از پانل‌های تک پوسته در اکثر اجرای ساختاری کشتی هستند، به استثنای سازه‌های پایینی که برای فشار بالا طراحی شده‌اند و برای آنها پانل‌های تک پوسته ترجیح داده می‌شوند.
- در بسیاری از موارد، حداقل ضخامت مورد نیاز تعیین شده توسط قوانین، در مقایسه با ساختاری که کاملاً با استحکام طراحی شده است، وزن اضافه می‌کند.

جدول ۷- طرح‌های آزمایشی مواد کامپوزیت پلیمری (PCM) ماتریکس تقویت‌شده با فایبرگلاس

No.	Description	Weight Percentage [wt.-%]				
		Sample B ₁	Sample B ₂	Sample I B ₃	Sample B ₄	Sample B ₅
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1.	Lamination Order:					
	Epoxy Resins	99.5	99	98.5	98	97.5
	Hardener	0.5	1	1.5	2	2.5

جدول ۸- تست کشش برای تعداد لایه‌های نمونه A و محتوای ماتریکس مواد سخت‌کننده نمونه B

Sample Tensile Strength [MPa]

A1	59.467
A2	63.722
A3	75.816
A4	82.899
A5	87.054

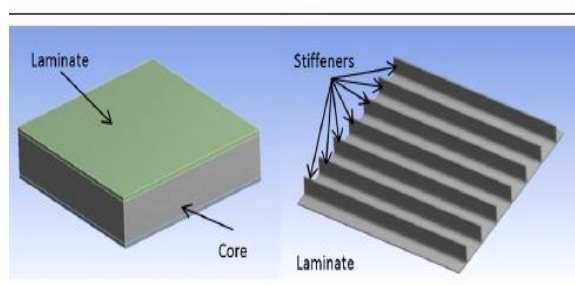
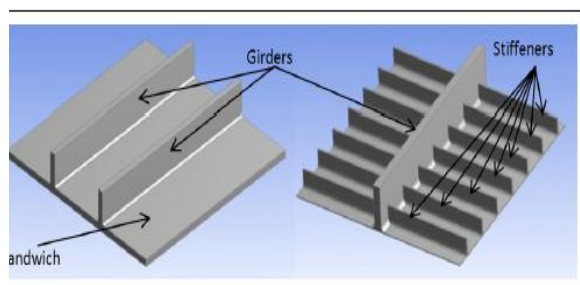
Sample Tensile Strength [MPa]

B1	73.921
B2	69.117
B3	67.592
B4	65.967
B5	65.342

{Gogoi, 2019} تحقیقات خود را با کامپوزیت‌های هیبریدی PP (پلیمر بازگشت‌پذیر) آغاز کرد و دریافت که کامپوزیت‌های هیبریدی با ۸ درصد وزنی SCF (فیبر کربن) استحکام کششی و مدول الاستیسیته بالایی از خود نشان می‌دهد به‌گونه‌ای که این نوع کامپوزیت از نظر استحکام کششی با کامپوزیت‌های تجاری که از محتوای الیاف نسبتاً بسیار بالاتر از ۴۰ درصد استفاده می‌کنند برابر بود [۲۲]. تصاویر SEM از سطوح شکسته کرایوژنیک با وضوح بالا برای تمام کامپوزیت‌های هیبریدی با ۵ درصد وزنی SCF و در شکل ۱۳ نشان داده شده است. عدم وجود هرگونه تجمع قابل مشاهده نشان‌دهنده پراکندگی و توزیع نسبتاً یکنواخت SCFs و HGMs در BM است. همچنین هم الیاف و هم پرکننده‌ها به‌طور معقول در ماتریکس پلیمری جاسازی شده‌اند.

- برای اندازه پانل آستانه‌ای وجود دارد که فراتر از آن پانل‌های دارای تیر، سبک‌تر از پانل‌های بدون تیر هستند. تحقیقات به دو صورت بررسی شدند در بخش اول تیرها در طول بررسی حذف شدند و در بخش دوم آنها گنجانده شدند دلیل اصلی این نوع تقسیم‌بندی این بود که بررسی

پانل‌های بدون تیر در مقایسه با پانل‌های دارای تیر راحت‌تر است در نتیجه می‌توان تحلیل‌های عمیق‌تری که شامل راه‌حل‌های قوی‌تر و فاکتورهای حیاتی‌تر است، انجام داد. در شکل ۱۴ می‌توان هر دو حالت با تیر و بدون تیر را مشاهده کرد.



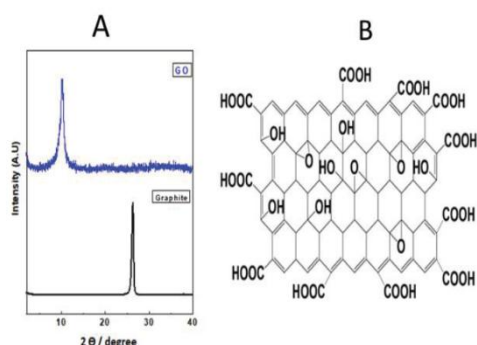
تصویر چپ: ساندویچ پانل دارای تیر
تصویر راست: پانل تک پوسته دارای تیر

تصویر چپ: ساندویچ پانل
تصویر راست: پانل تک پوسته

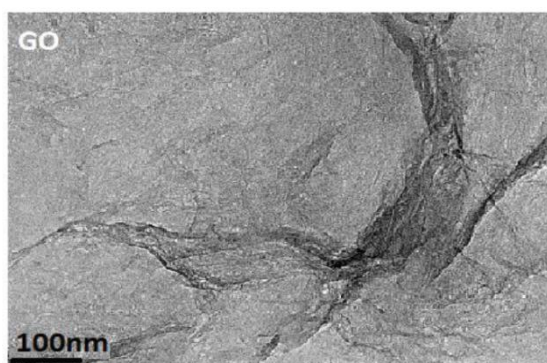
شکل ۱۴- نمایش ساندویچ پانل و پانل تک پوسته همراه با تیر و بدون تیر

۴- مواد نانو

{Aftab, 2019} نانو مواد مبتنی بر گرافن را مورد بررسی قرار داد. او دریافت که گرافن یک نانو مواد دوبعدی با شبکه گسترده حلقه‌های بنزن است، از فولاد ضدزنگ قوی‌تر است و رسانایی بالایی دارد. اکسید گرافن شکل عامل دار گرافن است که بیشتر ویژگی‌های گرافن دست‌نخورده است [۲۴]. شکل A۱۵ الگوهای XRD گرافیت و اکسید گرافن را نشان می‌دهد. ماده اولیه گرافیت به دلیل صفحه پراش (002) پیک شدیدی را در حدود 2θ 26° نشان می‌دهد. این امر نشان‌دهنده تبدیل موفقیت‌آمیز گرافیت به اکسید گرافن است. ساختار اکسید گرافن با استفاده از نرم‌افزار chemdraw همان‌طور که در شکل B۱۵ نشان داده شده است ترسیم شد. اکسید گرافن دارای ساختار اولیه مشابه ماده اصلی گرافن است با گروه‌های عاملی اضافی مانند لبه‌ها با اسید کربوکسیلیک و بدنه اصلی با گروه‌های هیدروکسیل و اپوکسی، عامل دار می‌شوند. شکل ۱۶ میکروگراف الکترونی عبوری از اکسید گرافن را نشان می‌دهد. گرافن بسیار صاف‌تر از مورفولوژی اکسید گرافن است. زبری به دلیل عاملی شدن گرافن است. روشی که به کار گرفته می‌شود، عامل دارسازی اکسیداتیو گرافیت است.



شکل ۱۵- (A) الگوهای XRD گرافیت و اکسید گرافن. (B) دوبعدی اکسید گرافن



شکل ۱۶- میکروگراف الکترونی عبوری با وضوح بالا اکسید گرافن {Dhinakaran, 2021} بر روی استفاده از مواد نانو در فضاپیماها تحقیق کرد او مواد نانو مانند MgB_2 ، نانولوله‌های کربنی چند جداره و نانوکامپوزیت‌های اکریلونیتریل بوتادین استایرن/ مونتموریلونیت و به

کامپوزیت‌های فایبرگلاس (GFRP) ارزان‌تر از فیبر کربن هستند و تولید آنها نیز ساده‌تر است، اما از نظر زیست‌محیطی مشکل‌سازند، زیرا بازیافت‌پذیری کمی دارند. فیبر کربن هرچند بسیار مقاوم و سبک است، اما به دلیل هزینه بالای تولید و تجهیزات پیشرفته موردنیاز، فقط در پروژه‌های خاص مانند شناورهای نظامی یا مسابقه‌ای استفاده می‌شود. کامپوزیت‌های الیاف طبیعی، اگرچه عمر مفید و مقاومت پایین‌تری دارند، اما از نظر اقتصادی برای پروژه‌های کم‌هزینه و پایدار، گزینه مناسبی هستند. نانوکامپوزیت‌ها مانند گرافن نیز عملکرد مکانیکی عالی دارند ولی به دلیل فناوری پیچیده تولید، هنوز برای کاربردهای گسترده، اقتصادی محسوب نمی‌شوند. در جدول ۹، مقایسه‌ای بین این مواد از نظر هزینه، دوام، نگهداری و بازیافت ارائه شده است.

جدول ۹- مقایسه اقتصادی مواد دریایی

ماده	هزینه تقریبی (یورو بر مترمربع)	هزینه نگهداری	عمر مفید	بازیافت‌پذیری	توضیحات اقتصادی
آلومینیوم ۵۰۸۳	۲۰۰-۱۵۰	کم	بالا	بالا	دوام زیاد، نیاز به تعمیر کم، ارزش بازیافت بالا
فایبرگلاس (GFRP)	۱۵۰-۱۰۰	متوسط	متوسط	پایین	ارزان و در دسترس، ولی مشکلات زیست‌محیطی و بازیافت
فیبر کربن (CFRP)	۵۰۰-۳۰۰	کم	بسیار بالا	پایین	بسیار مقاوم ولی بسیار گران، مناسب پروژه‌های خاص
کامپوزیت الیاف طبیعی	۱۷۰-۱۳۰	بالا	کم تا متوسط	بالا	مقرون‌به‌صرفه، زیست‌تخریب‌پذیر، اما نیاز به محافظت بیشتر
نانوکامپوزیت گرافنی	۴۰۰-۲۵۰	بسیار کم	بسیار بالا	محدود	عملکرد عالی در برابر عوامل محیطی، ولی هزینه بالا

دسته از کامپوزیت‌ها می‌توان به قابلیت‌های چشمگیری دست یافت.

۶- منابع

- [1] A. Dąbrowska, "Plant-oil-based fibre composites for boat hulls," *Materials*, vol. 15, no. 5, p. 1699, 2022.
- [2] S. Benson, J. Downes, and R. Dow, "Ultimate strength characteristics of aluminium plates for high-speed vessels," *Ships and Offshore Structures*, vol. 6, no. 1-2, pp. 67-80, 2011.
- [3] S. Soekrisno and B. Anggoro, "Effect of Anodizing in Surface Finishing on Speed Boat Impeller Made of Aluminum," *Advanced Materials Research*, vol. 896, pp. 253-256, 2014.
- [4] M. A. Wahid, A. N. Siddiquee, and Z. A. Khan, "Aluminum alloys in marine construction: characteristics, application, and problems from a fabrication viewpoint," *Marine Systems & Ocean Technology*, vol. 15, no. 1, pp. 70-80, 2020.
- [5] E. A. Starke and H. M. A. Rashed, "Alloys: Aluminum," in *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*: Elsevier, 2017.

ویژگی‌هایی همچون استحکام مکانیکی، دوام، تأخیر در شعله، مقاومت شیمیایی و پایداری حرارتی دست یافت. همچنین او دریافت که پیچیدگی مراحل که باید دنبال شود و پیچیدگی ماشین‌آلات، انتخاب تکنیک می‌تواند تأثیر زیادی بر کیفیت نانوکامپوزیت داشته باشد. گرافن خواص مکانیکی برتری را نشان داده است و شبیه‌سازی دینامیک مولکولی نشان داد که گرافن باعث افزایش پایداری، استحکام و کاهش تنش خستگی می‌شود [۲۵]. در انتخاب مواد برای ساخت شناورها، تنها خواص مکانیکی مطرح نیست، بلکه عوامل اقتصادی همچون هزینه اولیه، نیاز به نگهداری، قابلیت بازیافت و عمر مفید نیز تأثیر زیادی دارند. آلومینیوم یکی از گزینه‌های رایج و اقتصادی محسوب می‌شود؛ چون هم دوام بالایی دارد و هم نیاز به تعمیرات کمتری دارد، ضمن آنکه به راحتی قابل بازیافت است.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب گفته‌شده در قسمت‌های قبل می‌توان این برداشت را کرد که بسته به نوع کاربرد می‌توان مواد موردنیاز را مورد استفاده قرار داد به عنوان مثال اگر طول عمر و سبک بودن شناور برای ما اهمیت دارد می‌توان از آلیاژهای آلومینیوم استفاده کرد و همچنین با انداز کردن آن می‌توان طول عمر را افزایش داد و یا اگر سبک بودن به همراه استحکام بالای شناور برای ما اهمیت دارد می‌توان از کامپوزیت‌ها استفاده کرد و در بین کامپوزیت‌ها، کامپوزیت‌هایی که از الیاف طبیعی در آنها استفاده شده است به علت سازگاری با محیط و راحتی کار با آنها و از همه مهم‌تر قیمت مناسب آنها می‌تواند گزینه خوبی برای کاربردهای مختلف باشد. با توجه به پیشرفت صنعت کشتی‌سازی و استفاده از کامپوزیت‌های الیاف طبیعی بیش‌ازپیش، این نوید را می‌دهد که با کار کردن روی این

unsaturated polyester hybrid composite," in *IOP Conference series. Materials science and engineering*, 2010, vol. 11, no. 1: IOP Publishing.

[20] A. Windyandari, O. Kurdi, Sulardjaka, and M. Tauviqirrahman, "Bow structure damage analysis for hybrid coir-glass fiber composite fishing boat hull subjected to front collision load," *Curved and Layered Structures*, vol. 9, no. 1, pp. 236-257, 2022.

[21] R. Ruzuqi, "Tensile strength analysis of polymer composite materials fiber reinforced in the fiber boat application," *Journal of Research and Opinion*, vol. 7, no. 8, pp. 2763-2769, 2020.

[22] R. Gogoi, G. Manik, and B. Arun, "High specific strength hybrid polypropylene composites using carbon fibre and hollow glass microspheres: Development, characterization and comparison with empirical models," *Composites Part B: Engineering*, vol. 173, p. 106875, 2019.

[23] M. Håkansson, E. Johnson, and J. W. Ringsberg, "Cost and weight of composite ship structures: A parametric study based on Det Norske Veritas rules," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, vol. 232, no. 3, pp. 331-350, 2018.

[24] S. Aftab, R. B. Shaikh, B. Saifullah, M. Z. Hussein, and K. Ahmed, "Aerospace applications of graphene nanomaterials," in *AIP conference proceedings*, 2019, vol. 2083, no. 1: AIP Publishing.

[25] V. Dhinakaran, M. S. Sai, and M. V. Shree, "Some impact of nanomaterials in aerospace engineering," in *Nanomaterials and Nanocomposites*: CRC Press, 2021, pp. 17-29.

[6] R. A. Sielski, "Research needs in aluminum structure," *Ships and Offshore Structures*, vol. 3, no. 1, pp. 57-65, 2008.

[7] T. Lamb, N. Beavers, T. Ingram, and A. Schmieman, "The benefits and cost impact of aluminum naval ship structure," *Journal of Ship Production and Design*, vol. 27, no. 01, pp. 35-49, 2011.

[8] C. J. Altenburg and R. J. Scott, "Design considerations for aluminum hull structures--study of aluminum bulk carrier," 1971.

[9] A. Mouritz, E. Gellert, P. Burchill, and K. Challis, "Review of advanced composite structures for naval ships and submarines," *Composite structures*, vol. 53, no. 1, pp. 21-42, 2001.

[10] M. Sanjay, G. Arpitha, L. L. Naik, K. Gopalakrishna, and B. Yogesha, "Applications of natural fibers and its composites: an overview," *Natural resources*, vol. 7, no. 3, pp. 108-114, 2016.

[11] M. Collotta, L. Solazzi, S. Pandini, G. Tomasoni, M. Alberti, and G. Donzella, "Design and realization a skiff racing boat hull made of natural fibers reinforced composite," in *AIP Conference Proceedings*, 2016, vol. 1736, no. 1: AIP Publishing.

[12] H. Ku, H. Wang, N. Pattarachaiyakoo, and M. Trada, "A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites," *Composites Part B: Engineering*, vol. 42, no. 4, pp. 856-873, 2011/06/01/ 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.01.010>.

[13] F. Rubino, A. Nisticò, F. Tucci, and P. Carlone, "Marine application of fiber reinforced composites: a review," *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 8, no. 1, p. 26, 2020.

[14] D. B. Dittenber and H. V. GangaRao, "Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure," *Composites Part A: applied science and manufacturing*, vol. 43, no. 8, pp. 1419-1429, 2012.

[15] M. Norhidayah, A. Ariff, M. Y. bin Yaakob, M. Zolkarnain, T. Taufik, and H. Saifuddin, "A review of current development in natural fiber composites in automotive applications," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 564, pp. 3-7, 2014.

[16] E. McLaughlin and R. Tait, "Fracture mechanism of plant fibres," *Journal of Materials Science*, vol. 15, pp. 89-95, 1980.

[17] R. Renjith and R. P. Nair, "Structural analysis of NFRP composite boat hull using finite element method," *J Offshore Struct and Tech*, vol. 6, no. 1, pp. 10-7, 2019.

[18] I. M AL-Sudani, S. A Al-Rabii, and D. S Al-Fattal, "The effects of anodizing process on the corrosion rate and fatigue life of aluminum alloy 7075-T73," *Engineering and Technology Journal*, vol. 38, no. 1A, pp. 34-42, 2020.

[19] S. Misri, Z. Leman, S. Sapuan, and M. Ishak, "Mechanical properties and fabrication of small boat using woven glass/sugar palm fibres reinforced

مقایسه نتایج عددی مدل های کاویتاسیونی مختلف انسیس فلوئنت با

نتایج تجربی پروانه INSEAN E779A

محمدحسین قائدشرف^۱، مجتبی دهقان منشادی^۲

۱- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک، تبدیل انرژی-دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شاهین شهر، اصفهان

۲- استاد گروه مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی مالک اشتر- شاهین شهر، اصفهان

چکیده:

پروانه های دریایی به عنوان عنصر کلیدی در تبدیل توان تولیدی موتورهای محرک شناورها به حرکت خطی عمل می کنند. جریان کاویتاسیونی در بسیاری از جریان های سیالی، به ویژه در پیشران های دریایی، می تواند اختلالاتی در عملکرد هیدرودینامیکی پروانه ها ایجاد کند و منجر به کاهش مزایای آکوستیکی و فرسایش سطوح شود. در این پژوهش، شبیه سازی عددی و ناپایای جریان های ثابت کاویتاسیونی بر روی یک پروانه دریایی چهار پره INSEAN E779A با استفاده از مدل های کاویتاسیونی Schnerr and Sauer و Zwart-Gerber-Belmari در نرم افزار انسیس فلوئنت انجام شده است. نتایج نشان می دهد که هر دو مدل در پیش بینی الگوی گسترش کاویتاسیون مشابه هستند، اما مدل Schnerr and Sauer دقت بیشتری در مقایسه با نتایج تجربی دارد. به طور خاص، برای ضریب پیشروی $J=0.846908$ مدل Schnerr and Sauer خطاهایی به میزان 8.57% و 0.58% برای ضریب تراست و گشتاور به ترتیب نشان می دهد، در حالی که مدل Zwart-Gerber-Belmari خطاهای 11.7% و 5.01% را ثبت کرده است. لذا نتایج هیدرودینامیکی مدل کاویتاسیونی Schnerr and Sauer تطابق بیشتری با مقادیر تجربی دارد. بررسی نتایج شبیه سازی با هردو مدل کاویتاسیونی و نتایج تجربی برای ضرایب تراست و گشتاور در ضریب پیشروی ثابت $J=0.71$ و اعداد کاویتاسیون مختلف نیز دقت بیشتر مدل کاویتاسیونی Schnerr and Sauer را تایید می کند. این نتایج تأکید بر اهمیت پیش بینی دقیق پدیده کاویتاسیون در طراحی پیشران های دریایی با راندمان بالا دارد.

واژه های کلیدی:

پیشران دریایی، کاویتاسیون، پروانه INSEAN E779A، مدل کاویتاسیونی، فرسایش

Comparison of the Numerical Results of Different Cavitation Models of Ansys Fluent with the Experimental Results of the INSEAN E779A Propeller.

Qaedsharaf, Mohammadhusein¹, Dehghan manshadi, mojtaba²

1 Phd. student of Energy Conversion Mechanical Engineering - Malek-e- Ashtar University of Technology, Shahin Shahr, Isfahan

2 Professor of the Department of Mechanical Engineering, Malek-e-Ashtar University of Technology, Shahinshahr, Isfahan

Abstract

Marine propellers serve as the key component in converting the power produced by ship propulsion engines into linear motion. Cavitation flow can induce disturbances in the hydrodynamic performance of propellers, especially in marine propulsion systems, leading to reduced acoustic benefits and surface erosion. In this research, numerical and unsteady simulations of steady cavitation flows on a four-bladed INSEAN E779A marine propeller were conducted using the Schnerr and Sauer and Zwart-Gerber-Belmari cavitation models in ANSYS Fluent. The results indicate that both models provide similar predictions for the cavitation expansion pattern, but the Schnerr and Sauer model shows better accuracy when compared to experimental results. Specifically, for an advance coefficient of $J=0.846908$, the Schnerr and Sauer model exhibited errors of 8.57% and 0.58% for the thrust and torque coefficients, respectively, while the Zwart-Gerber-Belmari model recorded errors of 11.7% and 5.01% . Therefore, the hydrodynamic results of the Schnerr and Sauer cavitation model show better agreement with experimental values. An examination of the simulation results using both cavitation models and experimental data for thrust and torque coefficients at a constant advance coefficient of $J=0.71$ and various cavitation numbers further confirms the higher accuracy of the Schnerr and Sauer cavitation model. These findings emphasize the importance of accurately predicting the cavitation phenomenon in the design of high-efficiency marine propellers.

Keywords

Marine Propulsor, Cavitation, INSEAN E779A four-blade propeller, Cavitation Model, Erosion.

۱- مقدمه

کاویتاسیون پدیده‌ای اجتناب ناپذیر در پیشران‌های دریایی است. حباب‌های بخار در هر جایی که فشار محلی جریان سیال کمتر از فشار بخار اشباع باشد تولید می‌شوند. این حباب‌های بخار با جریان سیال حرکت می‌کنند و در مناطق پرفشار فرو می‌پاشند. کاویتاسیون پدیده‌ای نامطلوب در پیشران‌های دریایی است که منجر به ارتعاش، نویز و فرسایش پیشران و از دست دادن راندمان می‌شود، بنابراین پیش‌بینی دقیق وقوع پدیده کاویتاسیون در طراحی یک پیشران دریایی با راندمان بالا ضروری است. مطالعات تجربی عملکرد کاویتاسیون می‌تواند به طور دقیق تغییرات میدان جریان را منعکس کند اما این آزمایش‌ها زمان‌بر و هزینه‌بر هستند و برای برخی شرایط عملیاتی پیچیده قابل انجام نیستند. با توسعه سریع روش‌های محاسباتی، دینامیک سیالات محاسباتی بیش از پیش کاربردی شده‌است و به طور گسترده‌ای در مطالعات جریان‌های کاویتاسیون استفاده می‌شود. اگر فشار جریان آب در ناحیه‌های کاهش یابد به‌طوری که به فشار بخار اشباع برسد، سبب ایجاد حباب‌های بخار آب در نقاط کم‌فشار می‌شود. بنابراین، حجم مخصوص افزایش پیدا می‌کند و جرم مخصوص کم می‌شود. در چنین حالتی، شرایط حاکم بر جریان سیال تغییر می‌کند و با وقوع کاویتاسیون سیال دچار اغتشاش می‌شود. به‌طور کلی عواملی که مؤثر در کاویتاسیون هستند، عبارت‌اند از: عمق شناوری که با افزایش آن فشار استاتیک پیرامون پروانه افزایش یافته و احتمال وقوع کاویتاسیون کم می‌شود. درجه حرارت سیال که در صورت ثابت ماندن عمق شناوری و رژیم جریان افزایش دما، احتمال وقوع کاویتاسیون را زیاد می‌کند. شکل مقطع هیدروفویل که با افزایش ضخامت یا انحنای مقطع که باعث افزایش سرعت و کاهش فشار می‌شود احتمال وقوع کاویتاسیون را زیاد می‌کند. عوامل فوق در پروانه کشتی‌ها نیز مؤثرند علاوه بر این که سرعت دوران پروانه نیز روی تغییرات سرعت نسبی اثرگذار است و عمق کارکرد پره‌های آن به‌صورت پریودی تغییر می‌کند. کاویتاسیون معمولاً به‌صورت تشکیل حباب‌های پر شده با بخار یا گاز یا ترکیبی از آن‌ها و عملکردهای متعاقب آن (مانند رشد، جدا شدن از سطح و فروپاشی) در سیال تعریف می‌شود، کاویتاسیون دارای اثرهای کاهش کارکرد پروانه، خوردگی سطح پره‌ها، تولید صدا و ارتعاش در بدنه کشتی است. اما

وجود بارگذاری‌های سنگین در پروانه‌های دریایی جدید وقوع کاویتاسیون را در سیستم‌های پیش‌ران‌ش اجتناب‌ناپذیر ساخته‌است. بنابراین، پیش‌بینی کاویتاسیون امری حیاتی می‌باشد. نمونه‌ای از خوردگی کاویتاسیون بر روی پروانه دریایی در شکل ۱ مشاهده می‌شود.



شکل ۱- نمونه‌ای از خوردگی کاویتاسیون بر روی پروانه دریایی [۱]

۲- سابقه برخی تحقیقات و مطالعات انجام گرفته

در سطح بین‌المللی ای. بی. نیپراس [۲] در سال ۱۹۸۰ به بررسی فیزیک کاویتاسیون تولید شده توسط میدان‌های صوتی پرداخته و داده‌های نظری و تجربی اولیه مورد نیاز برای درک صحیح از بسیاری از اثرات کاویتاسیون و کاربردهای عملی آنها را بررسی نمود. هونگ تائو گائو [۳] در سال ۲۰۲۲ و همکاران پژوهشی عددی در مورد تأثیر بخش‌های تیغه بیونیک بر عملکرد هیدرودینامیکی پروانه‌های دریایی انجام دادند. نتایج نشان می‌دهد که با مقایسه در ضرایب پیشروی یکسان، راندمان چهار ملخ بیونیک در شرایط بار سنگین بیشتر از پروانه نمونه اولیه است. کون ژو و همکاران [۴] در سال ۲۰۲۳ پژوهشی در مورد ویژگی‌های دنباله کاویتاسیونی پروانه بر اساس روش مدل‌سازی آماری چند متغیره انجام دادند. در این مقاله از نتایج پردازش داده‌های تجربی تونل کاویتاسیون با پارامترهای قابل کنترل و داده‌های نویز تشعشعی واقعی برای تأیید و تکمیل یکدیگر با نتایج پردازش مدل ویژگی استفاده شد. در مرحله اول این مقادیر ویژه برای تجزیه و تحلیل رگرسیون آماری چند متغیره برای به دست آوردن یک مدل آماری که منعکس کننده ویژگی‌های دنباله کاویتاسیون پروانه است استفاده شد. در مرحله دوم نیز رابطه بین زاویه اسکیو پروانه و دامنه طیف خطی فرکانس پایین با استفاده از نمودار طیف توان به دست آمد. یونگ شوای وانگ و همکاران [۵] در سال ۲۰۲۳ شبیه‌سازی عددی بر روی شروع کاویتاسیون گردابه نوک پروانه با در

سرعت فرو می پاشند و پالس فشار صوتی قوی تولید می کنند. ا. ک. کرلا [۱۱] در سال ۲۰۲۳ پژوهشی بر روی چگونگی محافظت از سطوح در معرض کاویتاسیون انجام داد. این پژوهش نشان می دهد که علاوه بر سختی، مقاومت در برابر فرسایش کاویتاسیونی تحت تأثیر خواص دیگری مانند شکل پذیری، مقاومت خستگی و چقرمگی مقاومت شکست نیز قرار می گیرد. نتایج نشان می دهد که نیتريدینگ پلاسما می تواند مقاومت را تا ۲۰ برابر بهبود بخشد. شات پینینگ یا پردازش اغتشاشی اصطکاکی می تواند مقاومت در برابر فرسایش را تا پنج برابر بهبود بخشد. بررسی پژوهش های کنونی نشان می دهد که شبیه سازی های عددی عملکرد کاویتاسیون برای پیشران های دریایی اندک است.

۳- هندسه مورد استفاده

هندسه مورد استفاده در شبیه سازی یک پروانه دریایی چهار پره E779A INSEAN است. پروانه E779A چندین سال است که به طور گسترده مورد مطالعه و آزمایش قرار گرفته است. پارامترهای اصلی ملخ E779A به صورت جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات هندسی پروانه [۱۲]	
مقدار	مشخصه
22.7	قطر (سانتی متر)
4	تعداد تیغه ها
4.35	زاویه اسکيو در نوک پره
1.1	نرخ گام

۴- روش شبیه سازی عددی

در این پژوهش سیال عامل به صورت تراکم ناپذیر، همگن، نیوتنی و ناپایا در نظر گرفته شده است. از نیروهای بدنه و شتاب جاذبه و انتقال حرارت چشم پوشی شده است. برای یک سیال تراکم ناپذیر و تک فاز، معادلات حاکم برای Unsteady Reynolds-averaged Navier–Stokes (URANS) را می توان به صورت بقای جرم و مومنوم به شکل تانسوری زیر نوشت:

$$\frac{\partial \rho U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial (\rho U_i)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho U_i U_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \bar{u}_i \bar{u}_j) + S_M \quad (2)$$

x_j و x_i چگالی سیال است و ρ ، $j=1,2,3$ ، $i=1,2,3$ اجزای مختصات دکارتی هستند. برای مختصات مرجع دوار

نظر گرفتن اثر رشد و فروپاشی حباب انجام دادند. نتایج نشان داد که زاویه اسکيو به طور قابل توجهی بر دینامیک کاویتاسیون و همچنین نوسانات فشار تأثیر می گذارد. با افزایش زاویه اسکيو، نوع کاویتاسیون غالب به تدریج از کاویتاسیون ورقه ای به کاویتاسیون گردابی نوک تغییر می کند و کاویتاسیون روی تیغه ای که از جریان دنباله می گذرد به تاخیر می افتد. ام افتخارالعالم و همکاران [۶] در سال ۲۰۲۳ تحلیلی عددی بر روی برهمکنش کاویتاسیون، نویز و برهمکنش سیال و سازه پروانه های دریایی سری AU-Outline GAWN و سری B انجام دادند و نتیجه گرفتند که کمترین نویزهای کاویتاسیون ۱۵۳.۳ دسی بل و ۱۵۳.۱ دسی بل در زاویه ریک ۱۰ درجه برای پروانه های دریایی سری GAWN AU و سری B است. لی ژان دونگ و همکاران [۷] در سال ۲۰۲۳ یک بررسی عددی و تجربی بر روی اثر شبه کاویتاسیون در یک پیشران داکت دار انجام دادند. نتایج نشان می دهد که روش ارائه شده می تواند برای ارزیابی مکانیسم دینامیکی پروانه استفاده شود و بهبود استراتژی کنترل را حفظ کند. یان ژونگ و همکاران [۸] در سال ۲۰۲۳ شبیه سازی عددی ویژگی های کاویتاسیونی یک نمونه پیشران را انجام دادند. نتایج نشان می دهد که ضریب تراست، ضریب گشتاور و بازده پروانه اساساً زمانی که عدد کاویتاسیون بالای ۱.۵۲ باشد بدون تغییر است و هرگاه عدد کاویتاسیون به ۱.۱۶ کاهش می یابد، ضریب تراست پروانه کمی تغییر می کند، اما ضریب گشتاور کمی افزایش می یابد. دان دن ژلنگ و همکاران [۹] در سال ۲۰۲۳ کاویتاسیون و ویژگی های هیدرو دینامیکی یک پروانه کامپوزیت را در جریان ویک غیر یکنواخت بررسی نمودند. نتایج نشان می دهد که در مقایسه با ملخ های صلب، ملخ های کامپوزیتی در شرایط یکسان دارای حجم کاویتاسیون کمتر و راندمان پیشران بالاتری هستند. یونگ شوای وانگ و همکاران [۱۰] در سال ۲۰۲۳ تأثیر زاویه اسکيو بر دینامیک کاویتاسیون و نوسانات فشار فرکانس پایین القا شده در اطراف پروانه دریایی را مورد تحلیل قرار دادند. نتایج نشان می دهد حباب ها به تدریج به ناحیه کم فشار مرکز گرداب تحت مکش گردابه نوک پره نزدیک می شوند. حباب ها تحت فشار کم مداوم در هسته گرداب به طور انفجاری رشد می کنند و پس از رسیدن به حداکثر اندازه به سرعت منقبض می شوند و به

نسبی، S_M مجموع مولفه کوریولیس ($2\omega \times U$) و مولفه نیروهای گریز از مرکز $(\omega \times (r \times \omega))$ و U_i و U_j مولفه سرعت نسبی است. برای مختصات ثابت S_M برابر با صفر و U_i و U_j مولفه سرعت مطلق را نشان می‌دهد. μ ویسکوزیته دینامیک، P و U به ترتیب نشان دهنده فشار و سرعت متوسط گیری شده بصورت زمانی هستند و $\rho \bar{u}_i \bar{u}_j$ نیز تنش‌های رینولدز را نشان می‌دهد. به طور کلی محاسبات جریان کاویتاسیونی منجر به استخراج یک مدل مخلوط جریان چند فازی می‌شود. با این حال بر اساس مطالعات قبلی Szantyr (۲۰۰۶) [۱۳] و یانگ و همکاران (۲۰۱۳) [۱۴]، نمی‌توان اثرات گاز غیر قابل تراکم و حذف (Non Condensable Gas: NCG) را بر چگالی، سرعت و توزیع فشار سیال نادیده گرفت. بعلاوه، کسر حجمی NCG تأثیرات بسیار مهمی بر کاویتاسیون گردابی نوک پروانه و کاویتاسیون صفحه‌ای ایجاد می‌کند. در نتیجه جریان کاویتاسیون باید به عنوان مخلوطی از سیال، بخار و هسته‌های گاز در نظر گرفته شود که در مقایسه با مخلوط مایع و بخار معقول تر است. با در نظر گرفتن تأثیر NCG بر چگالی مخلوط ρ_m شبیه‌سازی عددی پدیده کاویتاسیون پروانه قابل اعتمادتر می‌شود. لذا هنگامی که پدیده کاویتاسیون مطرح باشد و رخ دهد ρ چگالی سیال در هر دو معادله بایستی چگالی مخلوط ρ_m جایگزین شود:

$$\rho_m = \alpha_v \rho_v + (1 - \alpha_v) \rho_l \quad (۳)$$

که α_v و ρ_v به ترتیب عبارتند از کسر حجمی بخار (وابسته به حجم کاویتاسیون تشکیل شده) و چگالی بخار و ρ_l چگالی مایع است.

۴-۱ مدل توربولانسی

مدل‌های توربولانسی با معرفی یک ویسکوزیته توربولانسی μ به محاسبه تنش‌های رینولدز می‌پردازند. در این پژوهش از مدل توربولانسی k- ω SST استفاده شده است. در بین مدل‌های دو معادله‌ای، مدل k- ω نسبت به مدل k- ϵ مزایای متعددی دارد. برجسته‌ترین مزیت آن در انتگرال‌گیری از این مدل بدون مؤلفه‌های اضافی در زیرلایه ویسکوز می‌باشد. این مسئله منجر به غیر حساس شدن رفتار y^+ و سراسر شدن آن شده است [۱۵]. به‌علاوه مدل k- ω SST در پیش‌بینی جدایش و گرادایان فشار ناخواسته، بهتر عمل می‌کند. از جمله معایب معادله

Standard k- ω ، حساسیت شدید حل به مقدار جریان آزاد k و ω در بیرون لایه برشی است. به این دلیل استفاده از مدل k- ω Standard در نرم‌افزار انسیس فلونت توصیه نمی‌شود. مدل‌های k- ω BSL و k- ω SST، با ترکیب مؤلفه‌های معادلات ω و ϵ برای اجتناب از حساسیت به جریان آزاد در مدل k- ω Standard طراحی شده‌اند. همچنین مدل k- ω SST جهت محاسبه دقیق جدایش از سطوح صاف به‌خوبی کالیبره شده است و به دلیل این مزایا در این پژوهش از این مدل توربولانسی استفاده شده است.

۵- شبیه‌سازی کاویتاسیون

۵-۱ معادلات حاکم

انتقال جرم بین حباب و آب منجر به تولید یا حذف حباب می‌شود و نرخ تولید یا حذف حباب توسط معادله رایلی-پلست کنترل می‌شود. پلست ابتدا این معادله را برای مسئله حباب‌های کاویتاسیون در حال حرکت اعمال کرد. مدل کامل رایلی-پلست شامل تأثیر شتاب رشد حباب و همچنین اثرات ویسکوزیته و کشش سطحی است:

$$R_B \frac{d^2 R_B}{dt^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{dR_B}{dt} \right)^2 + \frac{2T_t}{\rho_l R_B} + \frac{4\mu_l dR_B}{\rho_l R_B dt} = \frac{p_c(R_B, t) - p}{\rho_l} \quad (۴)$$

که R_B شعاع حباب، T_t ترم کشش سطحی است که اولین بار توسط رایلی مشتق و استفاده شد، $p_c(R_B, t)$ فشار درون حباب می‌باشد. فرض می‌شود که چگالی مایع ρ_l و ویسکوزیته دینامیکی مایع μ_l ثابت هستند. فشار $p_c(R_B, t)$ و دما همیشه یکنواخت هستند و $p_c(R_B, t) = p_v$ تنظیم می‌شود که در آن ρ_v فشار بخار است. نرخ انتقال جرم را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\dot{m}_{lv} = 4\pi F \rho_v R_B^2 \left(\frac{2|p_v - p|}{3\rho_l} \right)^{0.5} \text{sgn}(p_v - p) \quad (۵)$$

در این رابطه F ضریب تجربی تولید یا حذف حباب است. مقدار توصیه شده F برای تبخیر و تولید حباب $(p_v - p \geq 0)$ برابر ۵۰ و برای حذف حباب $(p_v - p < 0)$ برابر ۰/۱ در نظر گرفته می‌شود.

۵-۲ مدل کاویتاسیونی Schnerr and Sauer

امروزه یکی از موفق‌ترین مدل‌های کاویتاسیونی برای شبیه‌سازی عملکرد کاویتاسیون پروانه‌های دریایی مدل کاویتاسیون Schnerr and Sauer (2001) است. بر این اساس شکل کسر جرمی ترم‌های تبخیر و حذف را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\dot{m}^+ = F_{vap} \frac{3\alpha_g(1-\alpha_v)\rho_v}{R_B} \left(\frac{2|p_v - p|}{3\rho_l} \right)^{0.5} \text{sgn}(p_v - p) \quad (۶)$$

J	ضریب پیشروی:
K_T	ضریب تراست کل:
K_Q	ضریب گشتاور پیشران:
η_o	راندمان پیشران در حالت آب آزاد:
D	قطر پیشران (متر):
n	سرعت دورانی پروانه پیشران (دور بر ثانیه):
V_A	سرعت پیشروی پروانه مدل (متر بر ثانیه):
ρ	چگالی آب (کیلوگرم بر مترمکعب):
σ	عدد کاویتاسیون:
p_∞	فشار کاری (پاسکال):
p_v	فشار اشباع بخار (پاسکال):

۵-۶ گره محاسباتی و تنظیمات شبیه‌سازی عددی

کل حوزه محاسباتی به دو زیر دامنه تقسیم می‌شود، دامنه دوار و دامنه ثابت خارجی. برای حذف اثرات دیواره‌ها دامنه خارجی دارای بخش مشابه تونل کاویتاسیون و طول $15D$ است. روتور در فاصله $5D$ از ورودی قرار می‌گیرد [۱۶]. همه زیر دامنه‌ها دارای مش بی‌سازمان و چندوجهی هستند. در نزدیکی دیواره‌ها، ارتفاع لایه‌های اول از زیر لایه‌های لایه مرزی با مقدار y^+ در محدوده ۵ تا ۳۰ محاسبه می‌شود که مناسب حل‌کننده URANS با مدل آشفتگی SST k- ω می‌باشد. جریان یکنواخت بالادست با مقدار سرعت V مربوط به ضریب پیشروی J و شدت اغتشاش ۱٪ روی مرز ورودی تنظیم شده‌است. یک شرط مرز خروجی فشار به خروجی با فشار ثابت Pout در نظر گرفته می‌شود. دیوار میدان دوردست به‌عنوان دیوار با تنش برشی صفر تنظیم شده‌است. تمام شبیه‌سازی‌های کاویتاسیونی به صورت ناپایا (Transient) توسط ANSYS-Fluent به‌صورت طرح SIMPLEC و گسسته سازی مرتبه دوم مومنتوم و گسسته سازی PRESTO فشار و در مجموع ۳۰۰۰ گام زمانی با ۲۰ تکرار در هر مرحله زمانی به کار گرفته شد. فشار عملیاتی بر اساس عمق و عدد کاویتاسیون منتشر شده در منابع تنظیم می‌شود. سیال عامل آب در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد با چگالی ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمربع و فشار بخار اشباع ۲۳۶۸ پاسکال است. گام زمانی نیز از رابطه $\Delta t = \frac{1}{360n}$ که n سرعت دورانی بر حسب rps است محاسبه شده‌است.

$$m^- = F_{cond} \frac{3\alpha_v \rho_v}{R_B} \left(\frac{2|p_v - p|}{3\rho_l} \right)^{0.5} \text{sgn}(p_v - p) \quad (7)$$

که در آن m^+ و m^- به ترتیب نشان دهنده نرخ تبخیر و حذف در واحد حجم هستند. R_B شعاع یک حباب بخار و F_{cond} و F_{vap} به ترتیب ضرایب ثابت تجربی تبخیر و حذف حباب را نشان می‌دهند. p_v فشار داخل حباب و p فشار سیال اطراف حباب است. تفاوت این روابط رایلی-پلست به شرح زیر است: کسر حجمی $NCG(\alpha_g)$ و کسر حجمی بخار (α_v) در هر دو رابطه معرفی شده‌اند و شعاع حباب بخار بصورت ضریب ثابت در مخرج روابط ظاهر شده‌است.

۵-۳ مدل کاویتاسیونی Zwart-Gerber-Belamri

مدل و روابط کاویتاسیون رایلی-پلست اگر برای تبخیر اعمال شود، از نظر فیزیکی نادر است و از نظر عددی ناپایدار می‌باشد. دلیل اساسی این است که یکی از مفروضات کلیدی آن عدم برهمکنش حباب‌های کاویتاسیون با یکدیگر بوده که تنها در مراحل اولیه کاویتاسیون و زمانی که حباب کاویتاسیون از مرحله هسته‌زایی رشد می‌کند قابل قبول است. همانطور که کسر حجمی بخار افزایش می‌یابد، چگالی محل هسته‌زایی باید متناسب با آن کاهش یابد. برای اصلاح این فرآیند مدل کاویتاسیون Zwart-Gerber-Belamri توسعه داده شد و ترم $\alpha_{nuc}(1 - \alpha_v)$ معرفی شد. کسر حجمی محل هسته‌زایی را نشان می‌دهد و برابر با 5×10^{-4} است. شکل نهایی روابط این مدل کاویتاسیون به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$m^+ = F_{vap} \frac{3\alpha_{nuc}(1 - \alpha_v)\rho_v}{R_B} \left(\frac{2|p_v - p|}{3\rho_l} \right)^{0.5} \quad (8)$$

$$m^- = F_{cond} \frac{3\alpha_v \rho_v}{R_B} \left(\frac{2|p_v - p|}{3\rho_l} \right)^{0.5} \quad (9)$$

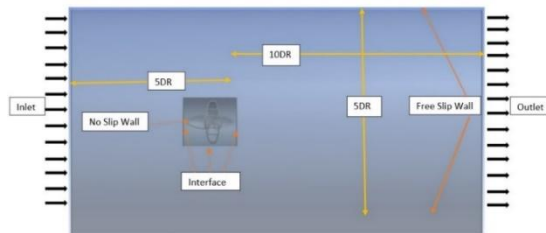
در اینجا نیز مانند روابط قبلی m^+ و m^- به ترتیب نشان دهنده نرخ تبخیر و حذف در واحد حجم، R_B شعاع یک حباب بخار و F_{vap} و F_{cond} به ترتیب ضرایب ثابت تجربی تبخیر و حذف حباب هستند.

۵-۵ پارامترهای عملکردی:

برای بررسی عملکرد هیدرودینامیکی و کاویتاسیونی سیستم رانش ضرایب بی‌بعدی به شرح زیر تعریف شده‌اند:

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}, K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5}, J = \frac{V_A}{nD}, \eta_o = \frac{JK_T}{2\pi K_Q}, \sigma = \frac{(p_\infty - p_v)}{0.5\rho_l(nD)^2} = \frac{(p_\infty - p_v)}{0.5\rho_l V_A^2} \quad (10)$$

کیفیت هر یک از زیر دامنه‌های محاسباتی بیش از ۰/۵ است. شمای دامنه محاسباتی در شکل ۲ آمده‌است.



شکل ۲- دامنه حل و شرایط مرزی مورد استفاده در شبیه‌سازی عددی

۶-۶ آنالیز استقلال حل از تعداد گره محاسباتی:

در همه شبیه‌سازی‌های عددی لازم است تا از عدم وابستگی نتایج به تعداد و نوع گره‌های محاسباتی تولید شده اطمینان حاصل نمود. در این زمینه از روش شاخص همگرایی شبکه برای اطمینان از عدم وابستگی نتایج به شبکه استفاده می‌شود. این روش نخستین بار توسط رچ [۱۷] به منظور ارزیابی خطای گسسته‌سازی و عدم قطعیت‌های عددی ارائه شد. برای استفاده از این روش حداقل به ۳ شبکه با تعداد سلول‌های محاسباتی مختلف نیاز است. این ۳ شبکه با اسامی S_1 , S_2 , S_3 با تعداد المان‌های N_1 , N_2 , N_3 از ریزترین (۱) تا درشت‌ترین (۳) شبکه نام‌گذاری می‌شوند. فاکتور ریز کردن شبکه (r) به صورت معادله (۲) تعریف می‌شود.

$$r_{21} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^{1/3} \quad (11)$$

در صورتی که $r > \sqrt{3}$ باشد خطای برون‌یابی کاهش می‌یابد [۱۷]. طبق روش رچ، نسبت همگرایی به صورت معادله (۳) تعریف می‌شود. η_1 , η_2 و η_3 راندمان آب آزاد برای سه حالت هستند:

$$R = \frac{\varepsilon_{21}}{\varepsilon_{32}} = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_3 - \eta_2} \quad (12)$$

در این معادله ε_{ij} بیانگر اختلاف نتایج به‌دست‌آمده از حل با شبکه i از شبکه j است. برای نسبت همگرایی سه حالت زیر متصور است:

$R > 1$ واگرایی شبکه

$R < 0$ همگرایی نوسانی

$0 < R < 1$ همگرایی یکنواخت شبکه

هنگامی که حل انجام‌شده با شبکه‌های موردبررسی در وضعیت همگرانی باشد، برون‌یابی ریچاردسون برای تخمین

شدت همگرایی استفاده می‌شود. مرتبه دقت این الگوریتم طبق معادله (۴) محاسبه می‌شود که r همان ضریب ریز شدن شبکه است که پیش از این تعریف شد.

$$P = \frac{\ln\left(\frac{\varepsilon_{32}}{\varepsilon_{21}}\right)}{\ln(r)} = \frac{\ln\left(\frac{\eta_3 - \eta_2}{\eta_2 - \eta_1}\right)}{\ln(r)} \quad (13)$$

درنهایت، شاخص همگرایی شبکه با استفاده از معادله (۵) محاسبه می‌شود. در این معادله ضریب F_s ضریب اطمینان همگرایی بوده و مقدار آن برابر با $F_s = 1.25$ پیشنهاد شده‌است [۱۷]. همچنین در این معادله نماد $| \varepsilon_{ij} |$ خطای نسبی تقریبی است.

$$GCI_{fine} = F_s \frac{|\varepsilon_{12}|}{r^{p-1}} = \frac{F_s}{(r^{p-1})} \left| \frac{\eta_1 - \eta_2}{\eta_1} \right| \quad (14)$$

$$GCI_{coarse} = F_s r^p \frac{|\varepsilon_{23}|}{r^{p-1}} = \frac{F_s r^p}{(r^{p-1})} \left| \frac{\eta_2 - \eta_3}{\eta_2} \right|$$

شاخص همگرایی شبکه نشان می‌دهد که نتایج به‌دست‌آمده چه میزان از مقدار دقیق فاصله دارد. به بیان دیگر این روش تغییرات نتایج را با ریزتر شدن شبکه نشان می‌دهد. مقادیر کوچک این کمیت نشان می‌دهد که خطای نسبی حل عددی مقدار مطلوبی دارد. شبکه‌های محاسباتی با کاهش و افزایش ارتفاع شبکه‌های لایه اول (First Layer Height) بازسازی می‌شوند. بر اساس Y^+ برابر ۳۰ ضخامت اولین لایه ۰/۵۸ میلی متر (بعنوان شبکه درشت) محاسبه می‌شود. جهت آنالیز استقلال حل از شبکه مقادیر ۰/۴۶ بعنوان مقدار متوسط و ۰/۳۴ بعنوان ریز انتخاب می‌شود. شبیه‌سازی عددی در دو مقدار ضریب پیشروی ۰/۹۱ و ۱/۰۹ برای شبکه‌های ریز، متوسط و درشت انجام شد که نتیجه در جدول ۲ قابل مشاهده‌است.

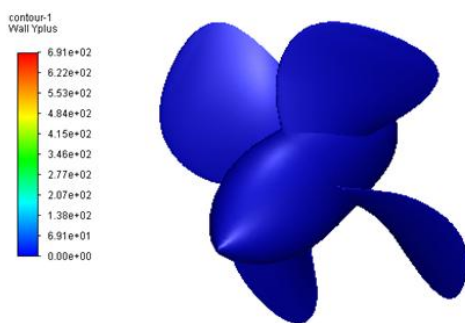
جدول ۲- نتایج آنالیز استقلال حل از شبکه برای ضریب تراست و گشتاور در ضرایب پیشروی مختلف

ضریب پیشروی	First Layer Height	تعداد سلول (میلیون)	K_T	K_Q
$J=0.91$	$\Delta s_1 = 0.058$	$N_1 = 6.9$	$K_{T1} = 0.1391$	$K_{Q1} = 0.0281$
	$\Delta s_2 = 0.046$	$N_2 = 10.7$	$K_{T2} = 0.1353$	$K_{Q2} = 0.0302$
	$\Delta s_3 = 0.034$	$N_3 = 13.4$	$K_{T3} = 0.1361$	$K_{Q3} = 0.0295$
$J=1.09$	$\Delta s_1 = 0.058$	$N_1 = 6.9$	$K_{T1} = 0.0285$	$K_{Q1} = 0.0113$
	$\Delta s_2 = 0.046$	$N_2 = 10.7$	$K_{T2} = 0.0243$	$K_{Q2} = 0.0106$
	$\Delta s_3 = 0.034$	$N_3 = 13.4$	$K_{T3} = 0.0254$	$K_{Q3} = 0.0110$

همانطور که در جدول ۲ نشان داده‌شده‌است، خطاهای ضرایب رانش و گشتاور بین سه نوع شبکه بسیار کم است و صحت استقلال شبکه تایید شده‌است. علاوه بر این،

۶- بحث و نتایج:

شبیه‌سازی با دو مدل کاویتاسیونی Schnerr and Sauer و Zwart-Gerber-Belmari در $J=0.71$ و $\sigma = 1.763$ بصورت مجزا انجام شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی با نتایج تجربی مرجع [۱۲] مورد مقایسه قرار گرفت. مقایسه بین گسترش دامنه کاویتاسیون بر روی تیغه‌های پروانه در شکل ۵ آمده‌است.



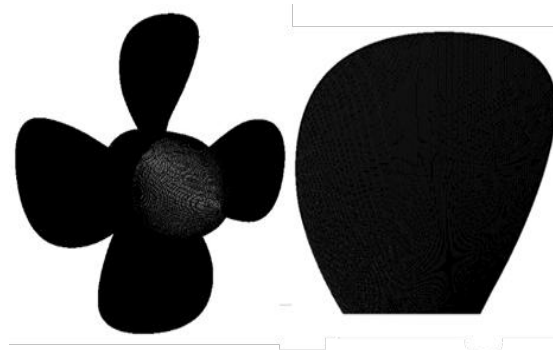
شکل ۵- گسترش کاویتاسیون به ترتیب از بالا به پایین: تست تجربی، مدل Schnerr and Sauer و مدل Z-G-B

همان‌طور که از شکل مشخص است گسترش کاویتاسیون در هر دو مدل کاویتاسیونی الگویی تقریباً مشابه دارد، با چرخش پروانه کاویتاسیون از لبه حمله شروع شده و به تدریج بر روی قسمت بالایی سطح مکش پروانه گسترش پیدا کرده‌است. پارامترهای هیدرودینامیکی در حالت کاویتاسیونی در $J=0.846908$ برای هر دو مدل کاویتاسیونی محاسبه گردید. مقدار تجربی برای ضریب تراست 0.168778 و برای ضریب گشتاور 0.0366621 است. مقادیر شبیه‌سازی با مدل کاویتاسیونی Schnerr and Sauer به ترتیب برای ضرایب تراست و گشتاور عبارت است از 0.154308 و 0.0368746 و برای شبیه‌سازی با مدل Zwart-Gerber-Belmari نیز به ترتیب 0.148914 و 0.0348237 می‌باشند. نتایج در جدول ۳ آمده‌است.

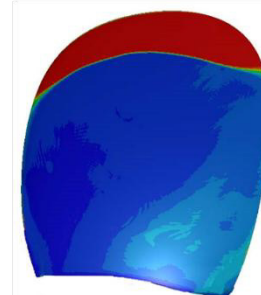
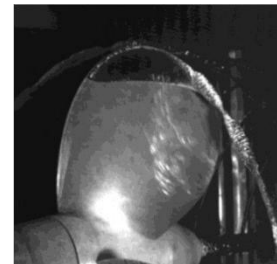
جدول ۳- مقایسه نتایج شبیه‌سازی عددی با هر دو مدل کاویتاسیونی و نتایج تجربی [۱۲] و درصد خطای آنها

Condition	Thrust Coefficient (K_T)	K_T Deviation	Thrust Coefficient (K_Q)	K_Q Deviation
Experiment	0.168778	-	0.0366621	-
Schnerr and Sauer	0.154308	8.57	0.0368746	0.58
Zwart-Gerber-Belmari	0.148914	11.7	0.0348237	5.01

شاخص همگرایی شبکه (GCI) نیز محاسبه شده‌است. راندمان سه شبکه تعریف شده در $J=1.09$ به ترتیب عبارتست از $39/7630$ ، $39/7692$ و $39/7748$. همچنین GCI_{coarse} و GCI_{fine} به ترتیب عبارتند از 0.410 و 0.412 که مقادیر کوچک و مطلوبی هستند و همچنین نسبت همگرایی R برابر $1/0.9$ که مقداری نزدیک به عدد ۱ و نشان‌دهنده همگرایی شبکه‌است. لذا مقدار $\Delta S_2 = 0.046$ جهت شبکه بندی در کلیه حالات انتخاب گردید. نمونه‌ای از شبکه بندی انجام‌شده را در شکل ۳ قابل مشاهده است. کانتور y^+ نیز در شکل ۴ قابل مشاهده است.



شکل ۳- شمای هندسه شبکه بندی شده



شکل ۴- کانتور y^+ بر روی هندسه پیشران

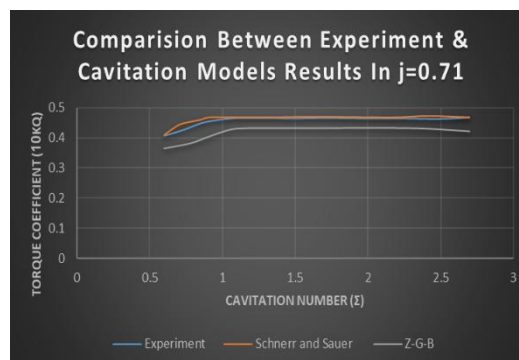
- مدل Zwart-Gerber-Belmari در همان ضریب پیشروی برای ضریب تراست ۰/۱۱۷٪ و ضریب گشتاور ۰/۵٪ خطا نسبت به مقادیر تجربی دارد.

بنابراین نتایج هیدرودینامیکی مدل کاویتاسیونی Schnerr and Sauer تطابق بیشتری با مقادیر تجربی دارد. کاویتاسیون پدیده‌ای نامطلوب در پیشران‌های دریایی است که منجر به ارتعاش، نویز، فرسایش و کاهش راندمان می‌شود. پیش‌بینی دقیق وقوع کاویتاسیون در طراحی پیشران‌های دریایی با راندمان بالا ضروری است.

۸- مراجع:

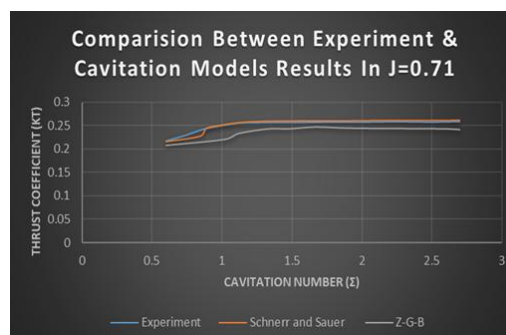
- [1] <https://www.tacomapropeller.com/what-is-propeller-cavitation-causes-prevention-repair/>
- [2] E.A. Neppiras, Acoustic cavitation, Physics Reports, Volume 61, Issue 3, 1980, Pages 159-251, ISSN 0370-1573
- [3] GAO, Hongtao; YANG, Jie; YAN, Yuying. A numerical investigation into the influence of bionic blade sections on the hydrodynamic performance of marine propellers. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2023, 45.7: 351.۱۴۹-۱۵۶, June 2022
- [4] ZHOU, Kun, et al. Research on propeller cavitation wake characteristics based on multivariate statistical modeling method. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, 2023, 14750902231164789.
- [5] YONGSHUAI, Wang, et al. NUMERICAL SIMULATION OF PROPELLER TIP VORTEX CAVITATION INCEPTION CONSIDERING THE EFFECT OF NUCLEI GROWTH AND COLLAPSE. 力学学报, 2023, 55.6: 1-11. DOI: 10.6052/0459-1879-23-080
- [6] ALAM, Md Iftekharul, et al. Numerical Analysis on Cavitation-noise and Fluid-structure Interaction of AU-Outline GAWN Series and B-Series Marine Propellers. Journal of Engineering Advancements, 2023, 4.01: 25-34.
- [7] ZHANDONG, Li, et al. Numerical and experimental investigation of the quasi-cavitation effect on a ducted Propeller for ROV. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, 2023, 14750902231163905.

مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی با هردو مدل کاویتاسیونی و تجربی [۱۸] برای ضریب تراست و ضریب گشتاور در ضریب پیشروی ثابت $J=0.71$ در اشکال ۶ و ۷ آمده‌است.



شکل ۶- مقایسه نتایج شبیه‌سازی با هردو مدل کاویتاسیونی و نتایج تجربی [۱۵] برای ضریب تراست در $J=0.71$

همان طور که از اشکال ۶ و ۷ مشخص است هم در ضریب تراست و هم در ضریب گشتاور نتایج مدل کاویتاسیونی Schnerr and Sauer با نتایج تجربی مطابقت بیشتری دارد.



شکل ۷- مقایسه نتایج شبیه‌سازی با هردو مدل کاویتاسیونی و نتایج تجربی [۱۸] برای ضریب گشتاور در $J=0.71$

۷- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی:

این مقاله به مقایسه نتایج عددی مدل‌های کاویتاسیونی Schnerr and Sauer و Zwart-Gerber-Belmari در نرم‌افزار انسیس فلوئنت با نتایج تجربی پروانه E779A پرداخته شد. نتایج نشان داد که:

- هر دو مدل کاویتاسیونی در پیش‌بینی الگوی گسترش کاویتاسیون مشابه بودند.
- مدل کاویتاسیونی Schnerr and Sauer ضریب پیشروی $J=0.846908$ برای ضریب تراست ۰/۸۵۷٪ و ضریب گشتاور ۰/۵۸٪ خطا نسبت به مقادیر تجربی دارد.

- [8] ZHONG, Yan, et al. Numerical simulation of cavitation characteristics of pod propulsor. In: Third International Conference on Mechanical Design and Simulation (MDS 2023). SPIE, 2023. p. 436-442.
<https://doi.org/10.1117/12.2681992>
- [9] ZHANG, Dan-dan, et al. Global cavitation and hydrodynamic characteristics of a composite propeller in non-uniform wake. *Journal of Hydrodynamics*, 2023, 1-18.
<https://doi.org/10.1007/s42241-023-0036-9>
- [10] WANG, Yongshuai, et al. Influence of skew angle on the cavitation dynamics and induced low-frequency pressure fluctuations around a marine propeller. *Ocean Engineering*, 2023, 277: 114302.
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114302>
- [11] KRELLA, Alicja Krystyna. Degradation and protection of materials from cavitation erosion: a review. *Materials*, 2023, 16.5: 2058.
<https://doi.org/10.3390/ma16052058>
- [12] Morgut, M., & Nobile, E. (2011, June). Influence of the mass transfer model on the numerical prediction of the cavitating flow around a marine propeller. In *Proceedings of the 2nd International Symposium on Marine Propulsors*.
- [13] Koronowicz, T., & Szantyr, J. A. (2006). Vortex cavitation as a source of high level acoustic pressure generated by ship propellers. *Acta acustica united with acustica*, 92(1), 175-177.
- [14] Huang, B., Young, Y. L., Wang, G., & Shyy, W. (2013). Combined experimental and computational investigation of unsteady structure of sheet/cloud cavitation. *Journal of Fluids Engineering*, 135(7), 071301.
<https://doi.org/10.1115/1.4023650>
- [۱۵] دادخواه تهرانی، م.، انیسیس فلوننت مقدمائی برای حرفه‌ای ها، انتشارات دیباگران، ۱۴۰۰
- [16] Stajuda, M., Karczewski, M., Obidowski, D., & Jóźwik, K. (2016). Development of a CFD model for propeller simulation. *Mechanics & Mechanical Engineering*, 20(4).
<https://doi.org/10.3390/jmse8010031>
- [17] Roache, P. J.: Quantification of uncertainty in computational fluid dynamics. *Annual review of fluid Mechanics*, 29, 123-160 (1997).
<https://doi.org/10.1146/annurev.fluid.29.1.123>
- [18] Subhas, S., Saji, V. F., Ramakrishna, S., & Das, H. N. (2012). CFD analysis of a propeller flow and cavitation. *International Journal of Computer Applications*, 55(16).
- [19] Bertram, V., *Practical ship hydrodynamics*, Oxford, U.K., Butterworth Heinemann (2012)
- [20] Carlton, J. S., *Marine propellers and propulsion*, third ed., Amsterdam, Netherland, Elsevier (2012)

بررسی تأثیر ارتفاع تونل در عملکرد هیدرودینامیکی شناور فوق سریع با استفاده از CFD

مهدی بابایی^۱، حمیدرضا سهرابی^۲، مهدی وهنانی^۳، ابراهیم سلیمانی^۴

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی معماری کشتی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، تبدیل انرژی، دانشگاه جامع امام حسین (علیه‌السلام)

۴- دانشجوی دکتری، مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی شریف

چکیده:

رسیدن به سرعت‌های بالا در دریا از دیرباز برای انسان به عنوان یک هدف مطرح بوده است. جهت دستیابی به سرعت‌های بالا می‌توان از موتورهای با قدرت بیشتر استفاده نمود. اما این مساله به عنوان یک عامل محدودکننده، تا حدی می‌تواند باعث افزایش سرعت شناورهای تندرو گردد؛ چراکه توان موتور محدود بوده و بنابراین می‌بایست در طراحی شناورها با صرف زمان و هزینه، به یک طرح بهینه رسید. شناورهای تندروی مرسوم که تمام وزن شناور توسط سیال آب (از جنس نیروهای هیدرواستاتیک و هیدرودینامیک) تحمل می‌شود؛ تا سرعت حدود ۱۰۰ نات در کلاس مسابقه‌ای و تفریحی طراحی شده‌اند. برای رسیدن به سرعت‌های بالاتر، می‌بایست از خواص آیرودینامیک نیز استفاده نمود و با ایجاد نیروی لیفت آیرودینامیکی، بازدهی شناور را افزایش داد. اینگونه از شناورها که به شناورهای فوق سریع یا ترکیبی شهرت دارند؛ در نوع کاتاماران بوده و هوایی که از تونل بین پانتون‌ها عبور می‌کند سهم قابل توجهی از تحمل نیروی وزن شناور را در اعداد فرود بالای ۴ بر عهده دارد. در این مقاله به بررسی تأثیر ارتفاع تونل شناورهای فوق سریع پرداخته می‌شود. روش تحلیل استفاده از دانش دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) و نرم‌افزار تجاری استار سی‌سی‌ام پلاس است. نتایج حاصل شده حاکی از تأثیر مهم این پارامتر در طراحی شناورهای فوق سریع بوده که طراحان اینگونه از شناورها بایستی در مرحله طراحی به آن توجه ویژه داشته باشند.

واژه‌های کلیدی:

شناور فوق سریع، هیدروآیرودینامیک، ارتفاع تونل، پایداری طولی، توزیع نیروهای لیفت، CFD

Investigating the effect of tunnel height on the hydrodynamic performance of ultra-fast craft using CFD

Mahdi Babaei, Hamidreza Sohrabi, Mahdi Vahnani, Ibrahim Soleymani

1 - M.Sc. Graduate, Sharif University of Technology

2 - M.Sc. Graduate in Naval Architecture Engineering, Amir Kabir University of Technology

3 - M.Sc. Graduate in Mechanical Engineering (Energy Conversion), Imam Hossein Comprehensive University

4 - Ph.D. Student in Marine Engineering, Sharif University of Technology

Abstract

Achieving high speeds at sea has long been a goal for humans. In order to achieve high speeds, more powerful engines can be used. But this issue, as a limiting factor, can increase the speed of high-speed vessels to some extent. Because engine power is limited, and therefore, an optimal design must be achieved in the design of vessels by spending time and money. Conventional high-speed vessels, where the entire weight of the vessel is supported by the water fluid (from hydrostatic and hydrodynamic forces), are designed for speeds of up to about 100 knots, in the racing and recreational classes. To achieve higher speeds, aerodynamic properties must also be used and the efficiency of the vessel must be increased by creating aerodynamic lift. These vessels, known as ultra-fast or hybrid vessels, are catamaran-type, and the air passing through the tunnel between the pontoons contributes a significant portion of the weight of the vessel at Froude numbers above 4. This paper examines the effect of the tunnel height of ultra-fast vessels. The analysis method uses computational fluid dynamics (CFD) knowledge and the commercial software Star-CCM+. The results indicate the important impact of this parameter in the design of ultra-fast vessels, and designers of such vessels should pay special attention to it during the design stage.

Keywords

Ultrafast craft, hydroaerodynamics, tunnel height, longitudinal stability, lift force distribution, CFD

۱- مقدمه

سرعت همواره به عنوان یکی از جذاب‌ترین مفاهیم در ذهن بشر وجود داشته است. دستیابی به سرعت‌های بالا در تمامی تجهیزات ساخته انسان، انگیزه کافی جهت تلاش، تحقیق و توسعه دانش مهندسی را ایجاد نموده است. شناورهای تندرو در تمامی حوزه‌های تفریحی، تجاری، حمل و نقل، علمی و نظامی کاربرد دارد. در سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای در حوزه‌های مربوط به دانش هیدرودینامیک شناورهای تندرو باهدف کاهش مقاومت و دستیابی به سرعت‌های بالا انجام شده است. یکی از چالش‌های دستیابی به سرعت بالا، محدودیت در توان موتورهای دریایی تولید شده است. این موتورها توان مشخص و محدودی داشته و نمی‌توان برای سرعت‌های بالای ۱۰۰ نات از موتورهایی با توان خیلی زیاد بهره گرفت؛ دلیل این امر، افزایش وزن موتور و به تبع آن، افزایش وزن شناور است که تاثیر مستقیم و جدی در کاهش سرعت شناور خواهد داشت. موضوع مهم دیگر در شناور تندرو مخصوصا در سرعت‌های بالا، موضوع پایداری است. مهم‌ترین نگرانی در خصوص ناپایداری شناور تندرو در صفحات عمودی و افقی، پورپوئینگ^۱ و چاین‌واکینگ^۲ می‌باشد. پورپوئینگ به حرکت کوپل، متناوب و نوسانی هیو و پیچ شناور اطلاق می‌شود که در صورت عدم طراحی مناسب هیدرودینامیکی می‌تواند در سرعت‌های بسیار بالا در شناورهای تندرو دیده شود. پورپوئینگ مانع از حرکت پایدار شناور و رسیدن به سرعت بالا شده و علاوه بر آن، موجب آسیب‌رسانی به تجهیزات شناور، کاهش بازدهی آن‌ها و ناراحتی سرنشینان و خدمه در شناورهای تندرو سرنشین‌دار می‌شود [1]. با افزایش سرعت شناور و ریزآپ^۳ بدنه نسبت به سطح آب، سطح اتکای شناور با آب کاهش یافته و موقعیت اثر برآیند نیروی لیفت هیدرودینامیکی به سمت پاشنه شناور میل خواهد کرد. با فاصله گرفتن نقطه اثر نیروی هیدرودینامیکی از مرکز ثقل، شناور مستعد پورپوئینگ خواهد شد. با توجه به این دو موضوع؛ به سختی می‌توان با شناورهای تندروی مرسوم به سرعت بالای ۱۰۰ نات رسید. به همین دلیل از

سالیان قبل استفاده از موضوع آیرودینامیک در بدنه شناورهای تندرو جهت افزایش راندمان هیدرودینامیکی به ذهن طراحان رسید و مورد استفاده قرار گرفت. شناورهایی که هدف از به کارگیری آن‌ها ایجاد لیفت موثر هوا در سرعت‌های بالا و کاهش مقاومت آب، بدون استفاده از نیروی محرکه خارجی است. از طرفی باتوجه به اینکه در یک شناور ترکیبی، محل اثر برآیند نیروی لیفت آیرودینامیکی در جلوی مرکز ثقل طولی شناور قرار می‌گیرد [2]، می‌تواند در ایجاد تعادل طولی (بالانس نیروهای وارد بر شناور) در سرعت‌های بالا تاثیر خوبی بگذارد. این شناورها عموماً به صورت ۲بدنه یا ۳بدنه طراحی می‌شوند [3]. به عنوان مثال واکر و همکاران [4] و میتیو و همکاران [5] به ترتیب شناور ۲بدنه و ۳بدنه را جهت نیل به سرعت بسیار زیاد پیشنهاد داده‌اند. در شکل ۱ نمونه‌ای از شناور دوبدنه فوق‌سریع نشان داده شده است و در بخش (۲) مقاله به معرفی اجمالی شناورهای فوق‌سریع پرداخته می‌شود.



شکل ۱ - شناور فوق‌سریع ترکیبی دوبدنه [6]

از زمان بروز و ظهور شناورهای فوق‌سریع تاکنون، دانشمندان و طراحان مختلفی در تمامی حوزه‌های جدید طراحی خطوط بدنه این شناورها دست به تحقیق، توسعه و پژوهش زده و نظریه‌ها و روابطی را در این خصوص ارائه داده‌اند که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. ویلیامز [3] با تمرکز بر استفاده از هندسه شناورهای چندبدنه به محاسبه لیفت آیرودینامیک جهت رسیدن به سرعت‌های خیلی زیاد پرداخت. وی ابتدا با شبیه‌سازی ساده شده‌ی دوبعدی CFD شروع و سپس به صورت سه‌بعدی کار خود را ادامه داد. مطالعه عمده در این پژوهش بر فاصله جانبی بدنه‌ها از یکدیگر و تاثیر آن بر مقدار لیفت آیرودینامیک اختصاص دارد. ایشان نتیجه گرفت با استفاده از طراحی مناسب، شناور می‌تواند در سرعت‌های

¹ Porpoising

² Chine walking

³ Rise up

بالا تا ۵۰ درصد از وزن خود را توسط نیروی آیرودینامیکی تحمل نماید. شناورهای فوق سریع محدود به دوبنده و سه‌بدنه نبوده و هاک‌برگر [7] یک شناور چهاربدنه تونل‌دار که امکان استفاده از لیفت آیرودینامیک در سرعت‌های بالا را دارد؛ معرفی کرده است. این شناور متشکل از ۴ بدنه یکسان است که با ایجاد ۳ تونل می‌تواند لیفت آیرودینامیک کافی برای تحمل بخشی از وزن شناور در سرعت بالا را تولید کند. البته دوکتورز و تاک، هر دو در تحقیقات خود به این نتیجه رسیده‌اند که هرچه تعداد بدنه‌های شناور تونل‌دار کمتر باشد؛ بهتر است [8] و [9]. آپستال [10] در تحقیقات خود به این نتیجه رسید که در یک شناور فوق سریع ترکیبی جهت ایجاد پایداری می‌بایست برخلاف شناورهای تندرو مرسوم، تاثیر نیروهای هیدرودینامیکی و آیرودینامیکی به صورت همزمان در معادلات تعادل دیده شود و به این نکته تصریح کرد که محل اثر نیروی آیرودینامیکی جلوتر از مرکز ثقل شناور است. کورنف و همکاران با بررسی عوامل تاثیرگذار در پایداری شناور فوق سریع نشان دادند که افزایش وزن شناور و افزایش زاویه ددرایز، باعث افزایش پایداری این گونه از شناورها شده و ممان اینرسی جرمی و ارتفاع مرکز ثقل تاثیری بر پایداری شناور ندارند [11]. میتیو [12] با استفاده از مدل ریاضی به بررسی عوامل مختلف تاثیرگذار بر پایداری شناور ترکیبی پرداخت و نتیجه گرفت با جابه‌جایی مرکز ثقل شناور به سمت سینه، زاویه تریم بحرانی کاهش یافته و پایداری شناور بیشتر خواهد شد. وی از روش‌های جداگانه به‌منظور محاسبه نیروهای لیفت آیرودینامیکی و هیدرودینامیکی شناور استفاده نموده و با برهم نهی تاثیر نیروها، پایداری شناور را ارزیابی نموده است.

با توجه به اینکه شناورهای فوق سریع (ترکیبی) هم از خواص هیدرودینامیک و هم از خواص آیرودینامیک برخوردار هستند؛ این موضوع به عنوان یک بحث پرچالش در مجامع علمی مرتبط در دنیا، زمینه تحقیق و پژوهش‌های گسترده‌ای را برای علاقه‌مندان ایجاد کرده است. مرور کارهای انجام شده در این راستا نشان می‌دهد روش‌های مورد استفاده جهت تعیین نیروهای وارد بر شناور شامل مدل‌سازی ۲ بعدی، مدل‌سازی ۳ بعدی پتانسیل، استفاده از هندسه ساده شده جهت به‌کارگیری روش تئوری نواری، پنل متد و سویتسکی، استفاده از

ضرایب آیرودینامیک فویل‌های استاندارد و ... است که دقت مطلوبی نداشته و یا همراه با ساده‌سازی می‌باشند. در تمامی این روش‌ها نیروهای هیدرودینامیکی و آیرودینامیکی به صورت مجزا محاسبه شده و با روابط تعادل حاکم بر شناور، مدل دینامیکی و رفتار پایداری آن ارزیابی می‌شود که این هم به نوبه خود از دقت کافی برخوردار نمی‌باشد. ضمناً در مراجع مطرح شده، اشاره‌ای به موضوع ارتفاع تونل و تاثیر آن بر رفتار شناور نشده است. استفاده از ابزار جدید و با دقت، به‌همراه بررسی تاثیر متغیر ارتفاع تونل در طراحی هیدرو-آیرودینامیکی شناورهای ترکیبی در پژوهش جاری مورد بررسی قرار گرفته است. هدف، بررسی این متغیر با استفاده از دانش دینامیک سیالات محاسباتی و نرم افزار تجاری استار سی‌سی‌ام پلاس^۱ است.

۲- شناورهای فوق سریع

توانایی حمل بار قابل توجه و همچنین رسیدن به سرعت‌هایی فراتر از سرعت مرسوم در شناورهای تندروی رایج، منجر به پیدایش وسایل جدیدی شده است که تلفیقی از شناور و هواپیما است. پایه و اساس این مفهوم، استفاده از حرکت روبه‌جلوی شناور و سرعتی که به آن می‌رسد به منظور تولید لیفت آیرودینامیک با استفاده از سطوح لیفت‌ساز و سپس افزایش رایزآپ شناور، کاهش سطح خیس و کاهش درگ است. شناورهای فوق سریع با بدنه ترکیبی گونه‌ای از شناورها هستند که در آن‌ها از موضوع آیرودینامیک در بدنه شناورهای تندرو جهت افزایش راندمان هیدرودینامیکی استفاده می‌شود. این شناورها نام‌های مختلفی دارند که از جمله می‌توان به Aerodynamic Elevation, Air Entrapment High Speed, Tunnel Hull Boat, Hybrid Vehicle Sea Skimming Vehicle و ... اشاره کرد. نام‌گذاری این پلتفرم از شناورها گویای این مطلب است که هدف از توسعه آن‌ها، ایجاد لیفت مؤثر هوا در سرعت‌های بالا و کاهش مقاومت آب، بدون استفاده از نیروی محرکه خارجی است. بدنه‌های ترکیبی گونه‌ای از وسایل نقلیه هستند که به‌صورت ترکیبی و همزمان هم از خواص هیدرودینامیک و هم از خواص آیرودینامیک برخوردار هستند. راندمان بسیار بالای هیدرودینامیکی این شناورها

¹ STAR-CCM+

در روش و هندسه شناور صورت گرفته، دقت مناسب را ندارند. باتوجه به اینکه رژیم جریان‌های شناورهای فوق سریع در اعداد فرود بیشتر از ۴ تعریف می‌شود و تغییر در هر یک از المان‌ها و متغیرهای هندسی هیدرودینامیکی و آیرودینامیکی تأثیرات قابل توجهی بر رفتار شناور و مشخصات هیدرودینامیکی آن دارد؛ استفاده از ابزارهایی مانند CFD که قادر به شبیه‌سازی این موضوعات باشد امری سودمند است. معمولاً انجام شبیه‌سازی عددی همانند تست مدل در آزمایشگاه دریایی، بر روی مدل کوچک شده از شناور انجام و سپس به شناور با ابعاد واقعی تعمیم داده می‌شود. اما در خصوص شناورهای ترکیبی با توجه به اینکه جهت انجام تشابه سرعت در حوزه هیدرودینامیک و آیرودینامیک از تشابه فرود^۲ و رینولدز^۳ استفاده می‌شود و بنابراین سرعت تست مدل در این دو روش متفاوت است امکان شبیه‌سازی در مقیاس کوچک مدل وجود ندارد. شبیه‌سازی در ابعاد واقعی شناور و سرعت بالای جریان سیال، نیاز به ایجاد دامنه محاسباتی بزرگ و شبکه ریز برای افزایش دقت نتایج داشته که نیازمند سیستم‌های پردازش قوی است. به همین دلیل است که اغلب روش‌های تحلیل در خصوص شناورهای فوق سریع مبتنی بر تئوری‌ها و روابط ساده شده جریان سیال توسعه داده شده است.

شش مولفه مستقل برای بیان موقعیت و جهت‌گیری یک شناور لازم است. برای متحرک‌های دریایی شش مولفه حرکت با عناوین حرکت در جهت X یا سُرَج^۴، حرکت در جهت Y یا سَوای^۵، حرکت در جهت Z یا هیو^۶، دوران حول محور X یا رول^۷، دوران حول محور Y یا پیچ^۸، دوران حول محور Z یا یاو^۹ تعریف می‌شوند. این حرکات شش‌گانه شناور در شکل ۴ آورده شده است.

² Froude

³ Reynolds

⁴ Surge

⁵ Sway

⁶ Heave

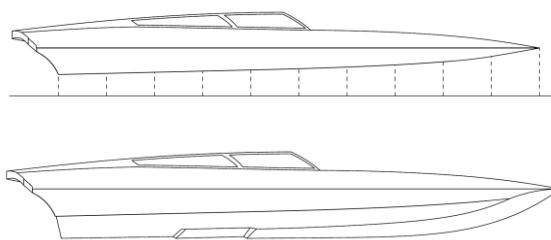
⁷ Roll

⁸ Pitch

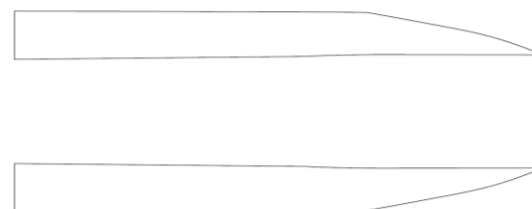
⁹ Yaw

و استفاده مؤثر از هوا به عنوان یک عامل لیفت ساز، رویای دستیابی انسان به سرعت‌های بیشتر از ۱۸۰ مایل بر ساعت در دریا را به واقعیت تبدیل کرده است.

با افزایش سرعت شناورها به بیش از ۵۰ نات، هوا به صورت جدی در موضوع شناوری دخیل خواهد شد و از مزایای بالقوه‌ی لیفت تولیدی توسط هوا به منظور کاهش درگ آب می‌توان استفاده نمود [13]. تولید لیفت آیرودینامیکی در پلتفرم‌های مذکور به چند دلیل اتفاق می‌افتد. از جمله‌ی این دلایل می‌توان به فرم تونل به عنوان یک سطح لیفت‌ساز، ایرفویل‌های نصب شده روی بدنه، بدنه‌های جانبی دیفیوزر شکل و پدیده اثر سطح^۱ ناشی از کف تونل اشاره کرد. در مراجع [4] و [14] به بررسی شناورهای ترکیبی پرداخته شده است. در شکل‌های ۲ و ۳ تأثیر دو پدیده‌ی اثر سطح و بدنه‌های جانبی دیفیوزر شکل در تولید لیفت یک نمونه شناور ترکیبی نشان داده شده است.



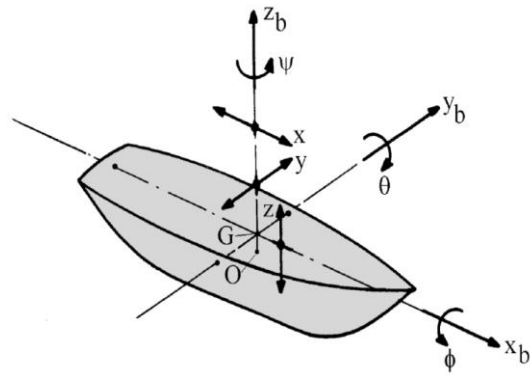
شکل ۲ - تأثیر پدیده اثر سطح در تولید لیفت یک نمونه شناور ترکیبی



شکل ۳ - تأثیر بدنه‌های جانبی دیفیوزر شکل در تولید لیفت یک نمونه شناور ترکیبی

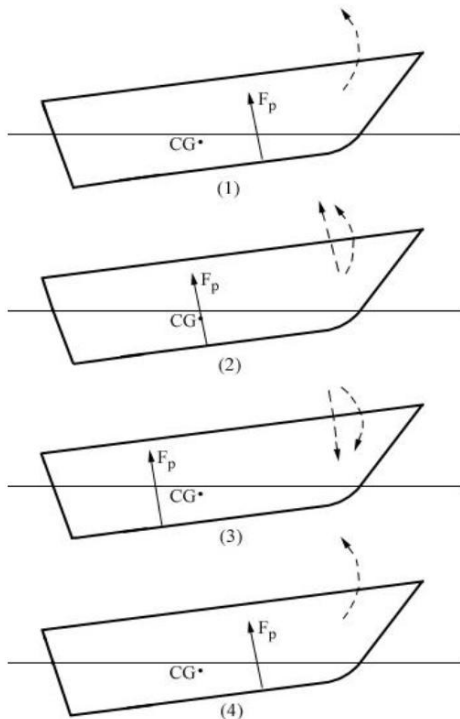
توسعه و پیشرفت در طراحی شناورهای فوق‌سریع و ترکیبی نیاز به یک ابزار تحلیلی دقیق و مناسب دارد تا بتواند ویژگی‌های دینامیکی شناور را با مدل‌سازی درست ترکیب نیروهای هیدرودینامیکی و آیرودینامیکی تخمین بزند. همان‌گونه که در بخش قبلی مقاله اشاره شد، روش‌های انجام شده مبنایی بوده و با ساده‌سازی‌هایی که

¹ Ground effect



شکل ۴ - حرکات شش درجه آزادی شناور

فشار هیدرودینامیکی تعریف می‌شود. زمانی که یک شناور به صورت پایدار در حال حرکت است، محل اثر نیروهای هیدرودینامیکی در نزدیکی مرکز ثقل می‌باشد. ولی هنگامی که محل اثر نیروهای هیدرودینامیکی از مرکز ثقل شناور فاصله داشته باشد، ناپایداری دینامیکی طولی ایجاد می‌شود. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، ابتدا محل اثر نیروهای هیدرودینامیکی در جلوی مرکز ثقل شناور بوده و ممانی وارد می‌کند تا تریم شناور افزایش یابد و این کار تا زمانی ادامه می‌یابد که F_p از CG عبور نماید. در این مرحله ممان F_p حول CG باعث کاهش تریم شده و سینه شناور به سمت آب نزدیک خواهد شد تا زمانی که F_p از CG عبور کند و در صورتی که این چرخه ادامه داشته باشد، شناور به حالت پایداری نرسیده و پورپوزینگ اتفاق خواهد افتاد.



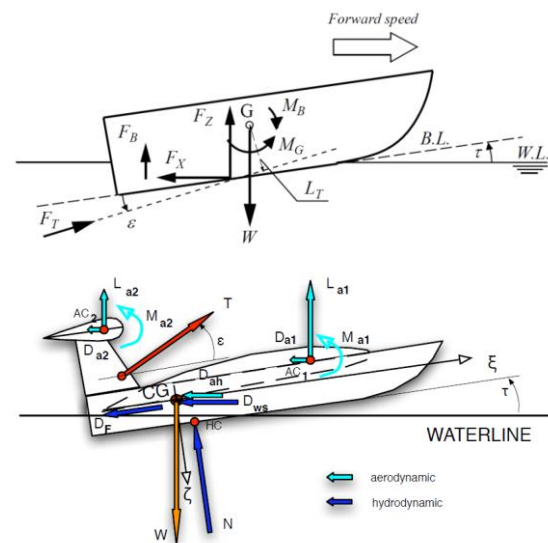
شکل ۵ - پورپوزینگ یک شناور تندرو [15]

در شکل ۶ نیروهای وارد بر شناور در سرعت ثابت و در صفحه عمودی برای یک شناور تندرو مرسوم و یک شناور فوق سریع به ترتیب در بالا و پایین، نشان داده شده است [16] و [17]. در صفحه عمودی دو معادله نیرو و یک معادله گشتاور بایستی ارضا شود تا شناور حرکت پایداری در سرعت‌های مختلف در دریا داشته باشد. مجموع نیروهای وارد بر شناور در راستای محور X و Z و ممان

پایداری دینامیکی برای شناورهای تندرو به دلیل حرکت در سرعت‌های بالا نسبت به شناورهای جابجایی از اهمیت بیشتری برخوردار است. از طرف دیگر به دلیل تغییرات زیاد در مشخصه‌های هیدرودینامیکی شناورهای تندرو مانند ارتفاع آب‌خور، طول خیس شده، زاویه تریم و ... در سرعت‌های بالا، بررسی پایداری دینامیکی پیچیده می‌باشد. پورپوزینگ حاصل ترکیب حرکات عمودی (هيو) و غلتش طولی (پیچ) شناور می‌باشد. بنابراین جهت پیش‌بینی این پدیده، صرفاً به بررسی دو درجه آزادی از ۶ درجه آزادی یک شناور تندرو، در صفحه عمودی پرداخته می‌شود. نام این ناپایداری از نام نوعی خوک دریایی به نام پورپوز گرفته شده است و علت آن نیز این است که حرکت شناور در آب هنگامی که دچار این ناپایداری می‌گردد شبیه حرکت این موجود بوده و شناور در آب با حرکت نوسانی و متناوب بالا و پایین می‌رود. این ناپایداری متناوب دینامیکی در آب‌های آرام و در غیاب تحریک خارجی رخ داده و متأثر از سرعت شناور است. به عبارت دیگر یک حد سرعت برای رخداد پدیده پورپوزینگ وجود دارد که این حد سرعت به پارامترهایی نظیر زاویه تریم شناور، موقعیت مرکز ثقل، زاویه ددرایز، نحوه توزیع نیروهای جریان سیال وارد بر جسم و ... وابسته است و با تغییر این پارامترها می‌توان حد سرعت را کاهش یا افزایش داد.

در یک شناور تندروی مرسوم، همانند شکل ۵ نیرویی که از جانب سیال آب به شناور اعمال می‌گردد را می‌توان به صورت برآیند نیروهای هیدرودینامیکی F_p نشان داد. با جابه‌جایی محل اثر نیروهای هیدرودینامیکی وارد به شناور (F_p) نسبت به مرکز ثقل آن (CG)، با ایجاد ممان حول مرکز ثقل، حرکات هيو و پیچ متناوبی ایجاد خواهد شد. محل اثر برآیند نیروهای هیدرودینامیکی در نقطه

وارد بر شناور حول محور y در سرعت ثابت باید صفر باشد.



شکل ۶ - نیروهای وارد بر شناور تندرو در صفحه عمودی [16], [17]

برای یک شناور تندروی مرسوم (شکل ۶ سمت راست)، معادلات تعادل نیرو و گشتاور به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$F_x = F_T \times \cos(\tau + \varepsilon) \quad (1)$$

$$F_z + F_T \times \sin(\tau + \varepsilon) + F_B = W \quad (2)$$

$$M_G + F_T \times L_T + M_B = 0 \quad (3)$$

که در این روابط، F_x نیروی درگ هیدرودینامیکی، F_T نیروی تراست سیستم رانش، τ زاویه تریم، ε زاویه شفت پروانه نسبت به خط مبنای شناور، F_z نیروی لیفت هیدرودینامیکی، F_B نیروی بویانسی، W نیروی وزن شناور، M_G ممان تریم دهنده حول مرکز ثقل ناشی از نیروی هیدرودینامیکی، M_B ممان تریم دهنده حول مرکز ثقل ناشی از نیروی هیدرواستاتیکی و L_T فاصله عمودی امتداد نیروی تراست تا مرکز ثقل شناور می‌باشد.

در مورد شناور ترکیبی (شکل ۶ سمت چپ)، علاوه بر نیروهای هیدرودینامیکی، نیروهای آیرودینامیکی نیز بر شناور اعمال می‌شود که در این شکل به ترتیب با رنگ‌های آبی و آبی فیروزه‌ای نشان داده شده است. نیروهای آیرودینامیکی را می‌توان به دو دسته عمده شامل نیروهای تولید شده توسط تونل شناور و نیروهای تولید شده توسط سطوح کنترلی تقسیم بندی نمود. بخش اعظمی از نیروهای آیرودینامیکی را دسته اول تشکیل داده و سهم نیروهای تولیدی توسط سطوح کنترلی کمتر

می‌باشد. بنابراین معادلات تعادل یک شناور فوق سریع به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$D_{a1} + D_{a2} + D_{ah} + N \times \sin(\tau) + D_F \times \cos(\tau) + D_{ws} = T \times \cos(\tau + \varepsilon) \quad (4)$$

$$L_{a1} + L_{a2} + N \times \cos(\tau) - D_F \times \sin(\tau) + T \times \sin(\tau + \varepsilon) = W \quad (5)$$

$$L_{a1} \times X_{a1} + D_{a1} \times Z_{a1} + M_{a1} - L_{a2} \times X_{a2} + D_{a2} \times Z_{a2} + M_{a2} + D_{ah} \times a_{ah} + D_{ws} \times a_{ws} + N \times c - D_F \times a = T \times R_T \quad (6)$$

که در این روابط، T نیروی تراست سیستم رانش، W نیروی وزن شناور، τ زاویه تریم، ε زاویه نیروی تراست خط رانش نسبت به خط مبنای شناور، D_{ah} نیروی درگ آیرودینامیکی بدنه، L_{a1} و L_{a2} نیروهای لیفت آیرودینامیکی ناشی از تونل و سطوح کنترلی، D_{a1} و D_{a2} نیروهای درگ آیرودینامیکی تونل و سطوح کنترلی، M_{a1} و M_{a2} ممان آیرودینامیکی تونل و سطوح کنترلی، X_{a1} و X_{a2} بازوی قائم نیروهای لیفت آیرودینامیکی نسبت به مرکز ثقل، Z_{a1} و Z_{a2} بازوی قائم نیروهای درگ آیرودینامیکی نسبت به مرکز ثقل، R_T بازوی قائم خط اثر نیروی تراست نسبت به مرکز ثقل، N نیروی لیفت هیدرودینامیکی و هیدرواستاتیکی آب، D_F نیروی درگ اصطکاکی آب و D_{ws} نیروی درگ هیدرودینامیکی اسپری و فشاری می‌باشد.

هدف این مقاله بررسی تاثیر ارتفاع تونل یک شناور فوق سریع ترکیبی دو بدنه و سهم آن در تامین نیروی لیفت آیرودینامیکی جهت تحمل بخشی از وزن شناور به روش عددی و دانش دینامیک سیالات محاسباتی می‌باشد.

۳- معادلات حاکم و نرم‌افزار مورد استفاده

جهت بررسی تاثیر نیروهای آیرودینامیک در شناور ترکیبی، همانند سایر موضوعات مهندسی به سه روش می‌توان عمل نمود. روش اول ساخت نمونه واقعی و انجام تست در شرایط عملکردی یک به یک است. روش دوم انجام تست در آزمایشگاه با مقیاس کوچک‌تر و تعمیم نتایج به شرایط واقعی است و روش سوم، شبیه‌سازی و انجام مدل‌سازی با استفاده از روابط و معادلات ریاضی است. از آنجایی که سرعت این‌گونه از شناورها بسیار بالاست؛ با استفاده از تشابه فرود، سرعت حرکت مدل

تست شناور در آزمایشگاه دریایی نیز بالا خواهد بود. به-عنوان مثال برای یک شناور ۱۲ متری که با سرعت ۱۲۰ نات حرکت می‌کند، عدد فرود ۵/۷ خواهد بود. جهت تست این شناور در آزمایشگاه دریایی با مقیاس ۱:۶ (مدل تست ۲ متری)، ارايه کشش باید با سرعت ۲۵/۲ متر بر ثانیه حرکت کند که سرعت بسیار بالایی است و تعداد آزمایشگاه‌های بزرگ، معتبر و با سابقه در دنیا که بتوانند چنین زیرساختی داشته باشند به تعداد انگشتان یک دست نیز نمی‌رسد. طول چنین آزمایشگاهی می‌بایست حداقل ۴۵۰ متر باشد. از طرفی باتوجه به تفاوت موجود در مقیاس پذیری عدد فرود و عدد رینولدز، شبیه‌سازی نیروهای آیرودینامیکی وارد بر بدنه در این سرعت صحیح نخواهد بود. به همین دو دلیل، تاکنون کار پژوهشی با استفاده از این روش در حوزه شناورهای فوق سریع انجام نشده است. در بخش (۱) مقاله به برخی از کارهای انجام شده به روش سوم، اشاره گردید. باتوجه به اینکه روابط و معادلات ریاضی ذکر شده به روش‌های تحلیلی بوده و حل دقیق نیست؛ از دقت کافی برخوردار نمی‌باشد. ضمناً در این روش‌ها، می‌بایست شکل ساده شده‌ای از هندسه شناور را تحلیل نمود و یا اینکه به بررسی هندسه‌های خاص و استاندارد پرداخت. علاوه بر آن، در استخراج معادلات نیز، قیود مشخص و محدود کننده‌ای اعمال شده است و این معادلات و روش‌های تئوری قابل استفاده برای هندسه‌های دلخواه شناور و شرایط مختلف حرکتی و جریان سیال نمی‌باشد. بنابراین بهترین روش؛ انجام مدل-سازی با استفاده از روابط حاکم بر جریان سیال به منظور تعیین دقیق نیروها و گشتاورهای وارد بر بدنه است تا بتوان درک صحیحی از جریان سیال اطراف بدنه به دست آورد. در حال حاضر با رشد چشمگیر مهندسی کامپیوتر و ظهور کامپیوترهایی با سرعت و ظرفیت بالا مشکلاتی که در حوزه‌ی دینامیک سیالات محاسباتی در خصوص تعیین میدان جریان و حل معادلات سیال وجود داشت، کمتر شده است. حل کامل میدان جریان و شبیه‌سازی سه بعدی، تخمین دقیق لایه‌ی مرزی و جدایش جریان و مواردی از این دست را می‌توان با مدل‌های موجود، شبیه-سازی نمود و به جواب‌های قانع کننده‌ای دست پیدا کرد. معادلات حاکم بر جریان سیال از اوایل قرن نوزدهم شناخته شده بود. مهم‌ترین معادلات حاکم بر دینامیک سیال عبارتند از:

- ✓ معادله‌ی پیوستگی
- ✓ معادلات ناویر-استوکس
- ✓ معادله‌ی انرژی

نقش انرژی در جریان‌های تراکم‌پذیر و تراکم‌ناپذیر بسیار متفاوت است. در جریان تراکم‌پذیر، قوانین ترمودینامیک حاکم بر چگالی سیال و فشار می‌باشند و لازم است که معادله‌ی انرژی نیز به همراه دیگر معادلات حاکم حل شود. ولیکن در جریان تراکم‌ناپذیر معادله‌ی انرژی یک معادله‌ی مکانیکی-انرژی است. در دینامیک سیال محاسباتی جریان تراکم‌ناپذیر، نیازی به حل معادله‌ی انرژی به‌طور جداگانه نیست و لذا در این پژوهش نیازی به حل معادله انرژی نمی‌باشد. معادله‌ی پیوستگی با استفاده از اصل فیزیکی بقای جرم به دست می‌آید. این معادله را به دو صورت مختلف یعنی حجم کنترل و المان بی‌نهایت کوچک سیال می‌توان نوشت. رابطه‌ی ۷ معادله‌ی پیوستگی برای یک المان بی‌نهایت کوچک می‌باشد.

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \nabla V = 0 \quad (7)$$

که در این رابطه ρ چگالی سیال، t زمان و V سرعت سیال می‌باشد. معادلات ناویر-استوکس، معادلات دیفرانسیل جزئی غیرخطی می‌باشند که حل عمومی نداشته و تنها تعداد محدودی حل دقیق دارند. معادلات نویراستوکس هم برای جریان آرام و هم جریان مغشوش کاربرد دارد [18]. با در نظر گرفتن یک المان بی‌نهایت کوچک که با جریان سیال حرکت می‌کند و تجزیه‌ی رابطه‌ی برداری نیرو، به سه رابطه‌ی اسکالر رسیده و در راستای محورهای مختصات و نوشتن قانون دوم نیوتن داریم:

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho f_x \quad (8)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \rho f_y \quad (9)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \rho f_z \quad (10)$$

که فرم غیردائم معادلات بقای مومنتوم برای یک المان بی‌نهایت کوچک سیال هستند. این معادلات که ناویر^۱ و استوکس^۲ به صورت مستقل و بدون اطلاع از کار

¹ M. Navier

² G. Stokes

توربولانسی ایده آل می‌بایست کمترین میزان پیچیدگی را داشته باشد و در عین حال، ماهیت فیزیک‌های مرتبط را به خوبی پیش‌بینی کند.

مدل‌های دو معادله‌ای به عنوان زیربنای بسیاری از تحقیقات مربوط به مدل‌سازی جریانات آشفته مخصوصاً در سال‌های اخیر، مورد توجه بسیار قرار گرفته‌اند. ساده‌ترین مدل‌های کامل آشفتگی که در عین قابلیت‌های بالا دارای معادلات نسبتاً ساده‌ای نیز می‌باشند، مدل‌های دو معادله‌ای مانند $k - \varepsilon$, $k - \omega$, SST هستند.

روابط فوق در اوایل قرن نوزدهم استخراج شدند و حل تحلیلی بسته‌ی شناخته شده‌ای ندارند اما می‌توان آن‌ها را گسسته نمود و به صورت عددی حل کرد. با استفاده از روش‌های عددی، این معادلات به فرم‌های قابل حل تبدیل شده و به سادگی حل می‌شوند در روش‌های عددی، حل یک مسئله‌ی جریان (سرعت، فشار، دما و...) در گره‌های داخلی هر سلول صورت می‌گیرد و دقت مربوط به یک حل عددی از تعداد سلول‌های موجود در شبکه پیروی می‌کند. در حالت کلی تعداد سلول‌های زیاد، دارای دقت بهتری می‌باشد، اما قیمت سخت‌افزار مورد نیاز و زمان محاسبه نیز بستگی به ظرفیت شبکه دارد. می‌توان الگوریتم حل عددی معادلات را در سه مرحله‌ی زیر خلاصه نمود:

- ✓ اعمال معادلات حاکم روی تمام شبکه
 - ✓ گسسته‌سازی و تبدیل معادلات به یک سیستم معادلات
 - ✓ حل معادلات با استفاده از یک روش تکرار
- رویه عددی با شبکه‌بندی دامنه‌ی محاسباتی آغاز می‌شود. نتیجه‌ی حل مجموعه معادلات ناویر-استوکس و پیوستگی، محاسبه‌ی میدان سرعت و فشار اطراف شناور است. در مرحله‌ی بعد با انتگرال‌گیری از تنش‌های وارد بر بدنه‌ی شناور، نیروها و گشتاورهای اعمالی بر بدنه به دست می‌آید.

در این مقاله جهت انجام شبیه‌سازی عددی و حل معادلات حاکم از یکی از نرم‌افزارهای تجاری CFD به نام استار سی‌سی‌ام پلاس استفاده شده است. تمام مراحل موردنیاز حل عددی شامل پیش پردازش^۲، پردازش^۳ و پس

یکدیگر به دست آوردند، معروف به معادلات ناویر-استوکس می‌باشد. در روابط ۵، ۶ و ۷، τ تنش برشی، p فشار و f_i مولفه‌ی بردار نیروهای حجمی بر واحد جرم می‌باشد که در جهت i وارد می‌شود. در اواخر قرن هفدهم میلادی، نیوتن ثابت نمود که تنش برشی در یک سیال متناسب است با نرخ زمانی کرنش و یا به عبارتی گرادیان‌های سرعت. به چنین سیالاتی، سیال‌های نیوتنی می‌گویند [19]. به این ترتیب در سیالات تراکم‌ناپذیر که چگالی سیال ثابت فرض می‌شود با ثابت بودن ضریب لزجت، معادله‌ی نهایی مومنوم در شکل پایستاری به صورت زیر می‌باشد:

$$\rho \frac{DV}{Dt} = -\nabla p + \mu \nabla^2 V + \rho f \quad (11)$$

اغلب جریان‌های با اهمیت مهندسی آشفته هستند و نیاز به ابزاری جهت بیان اثرات آشفتگی و اغتشاش نیز می‌باشد. در اعداد رینولدز بالاتر از مقدار بحرانی، تغییرات جدی در رفتار جریان مشاهده می‌شود و رفتار جریان تصادفی و نامنظم خواهد بود به‌طوری که سرعت و سایر خواص جریان به صورت دائمی و نامنظم تغییر می‌کند. در این حالت می‌توان سرعت را به دو بخش مقدار متوسط دائمی U و مولفه‌ی نوسانی $u'(t)$ که با آن جمع می‌شود، تقسیم کرد. بنابراین معادلات مومنوم در جهت i را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\rho \frac{\partial \bar{v}_i}{\partial t} + \rho \bar{v}_j \frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial \bar{v}_i}{\partial x_j} - \rho \overline{v_i v_j} \right) + \rho f_i \quad (12)$$

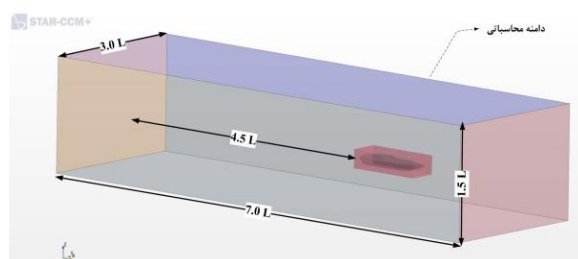
تنها تفاوت معادله ۱۱ با ۱۲، اضافه شدن

عبارت $\rho \overline{v_i v_j}$ می‌باشد. این عبارت را اصطلاحاً تنش آشفتگی یا تنش رینولدز می‌نامند. تنها تفاوت معادلات جریان آرام با آشفته نیز فقط حضور همین عبارت است و از نظر فیزیکی یک تنش نمی‌باشد بلکه بیانگر اثر تبادل مومنوم است. این معادلات را اصطلاحاً معادلات^۱ (RANS) می‌نامند. مدل‌سازی توربولانس یکی از ارکان اساسی دینامیک سیالات محاسباتی می‌باشد. بنابراین به یک مدل ریاضی که بتواند رفتار فیزیکی جریان‌های آشفته را تقریب بزند نیاز است. یک مدل

² Pre-Processing

³ Processing

¹ Reynolds Average Navier Stokes



شکل ۷ - ابعاد دامنه محاسباتی



شکل ۸ - ارتفاع تونل شناور (۳۱۹، ۲۹۴ و ۲۴۴ میلی‌متر)

برای حل عددی فرم گسسته‌ی معادلات دیفرانسیلی پاره‌ای، تعیین شرایط مرزی و اولیه الزامی است و باید نوع و فیزیک جریان در مرزهای دامنه‌ی محاسباتی به حل‌گر شناسانده شود. بنابراین هدف از تعریف شرایط مرزی در دینامیک سیالات عددی، مقید ساختن فرم گسسته‌ی معادلات برای حل آن در یک چهارچوب خاص و نیز تعریف ویژگی جریان در مرزهای دامنه‌ی محاسباتی می‌باشد. استفاده از شرط مرزی مناسب تابعی از نوع رژیم جریان، اطلاعات موجود در ورودی و خروجی جریان و نیز سازگاری نوع حل‌گر و الگوریتم عددی استفاده شده با شرط مرزی است. در صورت انتخاب نامناسب شرط مرزی، نه تنها دقت شبیه‌سازی کاهش می‌یابد بلکه در مواقعی نیز موجب همگرایی کند و یا حتی واگرایی در روند حل می‌شود. برای این مسئله، شرط مرزی سرعت ورودی^۳ در مرز ورودی، بالا و پایین دامنه محاسباتی و شرط مرزی فشار خروجی^۴ برای مرز خروجی اعمال شده است. وقتی از شرط مرزی ورودی استفاده می‌شود؛ بردار سرعت جریان و وقتی از شرط مرزی فشار خروجی استفاده می‌شود، مقدار فشار استاتیک تنظیم می‌شود. دو مرز کناری (صفحه جانبی و صفحه XZ در $y = 0$) به عنوان صفحه تقارن لحاظ شده است. با توجه به اینکه هندسه شناور و شرایط جریان تقارن دارند، می‌توان

پردازش^۱ در این نرم‌افزار در یک محیط و به صورت یکپارچه انجام می‌شود. به این صورت که در محیط نرم‌افزار، میدان محاسباتی^۲ و شبکه اطراف شناور ایجاد شده و پس از انجام تنظیمات مربوط به فیزیک مسئله، جریان سیال در آن تحلیل، و خروجی‌های مدنظر را می‌توان استخراج نمود.

۴- شبیه‌سازی CFD

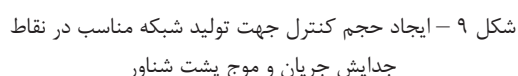
در شبیه‌سازی مسائل با هندسه و جریان متقارن، می‌توان جریان در نصف مدل هندسی را شبیه‌سازی نموده و نتایج به دست آمده را برای کل مدل تعمیم داد که باتوجه به متقارن بودن جریان و هندسه در این پژوهش، صفحه تقارن XZ به عنوان یک مرز تقارن در نظر گرفته شده است. یک اصل کلی در دینامیک سیالات محاسباتی این است که ابعاد دامنه محاسباتی باید به قدری بزرگ باشد تا جریان سیال اطراف جسم بر جریان ورودی از مرزها تاثیر نگذارد. این قاعده در پژوهش حاضر نیز رعایت شده است. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود؛ طول دامنه محاسباتی ۷ برابر طول شناور در نظر گرفته شده است به طوری که فاصله ابتدای دامنه تا سینه شناور، $1/5$ برابر طول کل و فاصله پاشنه تا انتهای دامنه، $4/5$ برابر آن می‌باشد. ارتفاع دامنه محاسباتی $1/5$ و عمق آن ۳ برابر طول کلی شناور است. هدف این پژوهش بررسی موضوع تاثیر ارتفاع تونل شناور فوق سریع و لیفت تولید شده آیرودینامیکی ناشی از پدیده اثر سطح، در عملکرد هیدروآیرودینامیکی شناور ترکیبی است. شناور مدنظر با طول ۷ متر، ارتفاع تونل ۳۱۹ میلی‌متر و وزن ۱۵۰۰ کیلوگرم است. سرعت کارکردی آن ۸۵ نات معادل با $43/7$ متر بر ثانیه است. در این سرعت، شناور ناپایدار بوده و پورپویز دارد. با تغییر ارتفاع تونل شناور به ۲۹۴ و ۲۴۴ میلی‌متر، تاثیر کاهش ارتفاع تونل در عملکرد هیدروآیرودینامیکی آن در این سرعت بررسی می‌شود. به عبارت دیگر در یک مرحله ۲۵ و سپس ۵۰ میلی‌متر ارتفاع تونل کاهش یافته است. در شکل ۸ شناور با هر سه ارتفاع تونل نشان داده شده است.

³ Velocity Inlet

⁴ Pressure outlet

¹ Post-Processing

² Domain



باتوجه به کوچک بودن محدوده لایه مرزی و تغییرات شدیدی که در جریان سیال در این ناحیه وجود دارد؛ می-بایست شبکه ریزتری برای لایه مرزی ایجاد نمود. از آنجایی که از مدل شبکه ترپمر استفاده می-شود به کمک ایجاد

پس از مدل‌سازی میدان محاسباتی، مرحله بعدی جهت انجام شبیه‌سازی مسئله که بایستی به دقت انجام گیرد؛ شبکه‌بندی میدان^۱ و تبدیل آن از یک محیط پیوسته به محیط گسسته به منظور اعمال روش‌های عددی می‌باشد. فرآیند گسسته‌سازی میدان فیزیکی و ایجاد میدان محاسباتی شامل عملیات پیچیده‌ای بوده که سهم قابل توجهی در کیفیت حل میدان دارد. وجود یک شبکه نامناسب می‌تواند بر همگرایی و پایداری روش عددی تأثیر منفی بگذارد و باعث به دست آمدن پاسخ‌های نامطلوبی در میدان جریان شود. به طور کلی یک شبکه مناسب شبکه‌ای است که اولاً منطبق بر مرز و هندسه باشد تا بتوان شرایط مرزی را به راحتی بر روی آن اعمال نمود؛ ثانیاً باید بتواند پدیده‌های جریان از قبیل نقطه سکون، لایه مرزی و جدایش را حس نموده و به خوبی نشان دهد که لازمه آن وجود کنترل مناسب بر توزیع نقاط شبکه در داخل میدان می‌باشد. ثالثاً تراکم و ابعاد سلول‌ها به اندازه‌ای باشد که برای حل میدان کمترین هزینه و زمان را صرف کند. نرم‌افزار استار سی‌سی‌ام مجهز به یک ماژول قدرتمند نیمه‌اتوماتیک جهت تولید شبکه حل عددی است که با توجه به اطلاعات ورودی از کاربر، قادر است شبکه‌های سطحی و حجمی دقیقی را تولید نماید. همچنین با استفاده از ابزارهای کنترلی می‌توان در نواحی دلخواه، تنظیمات خاصی جهت بهبود کیفیت مش انجام داد. این موضوع در جدایش جریان از پله‌های شناور، جدایش جریان از ترنوم و همچنین در موج تولیدی پشت شناور در شکل ۹ نشان داده شده است.

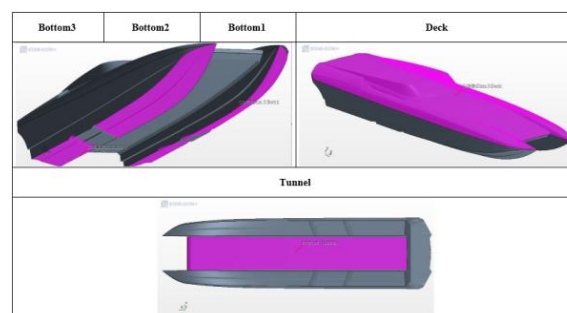
¹ Mesh

هندسه‌های غیردامنه‌ای و کنترل حجمی شبکه^۱ ایجاد شبکه با دقت و کنترل بسیار زیادی امکان‌پذیر است که این موارد در شکل ۱۰ به خوبی نشان داده شده است. باتوجه به اینکه مقدار y^+ روی بدنه شناور می‌بایست کمتر از عدد ۸۰ باشد، لایه مرزی مناسب تولید شد که مقادیر مشخصه آن در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۱- مشخصات کلی شبکه تولید شده

تعداد سلول‌ها	6,471,964
ضخامت کل شبکه لایه مرزی	0.0521 m
نسبت ضخامت آخرین لایه به اولین لایه در لایه مرزی	59.6
تعداد ردیف‌های لایه مرزی	19

به منظور تعیین نیروی لیفت تولید شده توسط سطوح لیفت‌ساز هیدرودینامیکی و آیرودینامیکی و همچنین موقعیت اثر این نیروها، شناور به بخش‌های مختلف تقسیم‌بندی شده و کد مناسب در نرم‌افزار استار سی‌سی‌ام نوشته شده است (شکل ۱۱). بنابراین مقدار لیفت تولید شده توسط هریک از سطوح شناور در شکل ۱۱ و همچنین موقعیت اثر آن در هر گام زمانی در حین حل، به صورت نمودار رسم خواهد شد.



شکل ۱۱- تقسیم‌بندی سطوح لیفت‌ساز هیدرودینامیکی و آیرودینامیکی شناور

هدف از انجام این پژوهش، استخراج دقیق نیروهای وارد بر شناور می‌باشد؛ بنابراین در مدلسازی اغتشاش از مدل‌های دو معادله‌ای استفاده شده است. در تمامی شبیه‌سازی‌ها، مدل $SST\ k-\omega$ انتخاب شده که برای مسائل با عدد رینولدز بالا مناسب و با دقت می‌باشد. با توجه به شبیه‌سازی دو درجه آزادی رفتار دینامیکی شناور (هیو و پیچ)، مدل-

سازی به صورت گذرا^۲ با گام زمانی $2.0e-4$ انجام شده است. خواص سیال، مدل فیزیک جریان و شناور به طور خلاصه در جدول ۲ ذکر شده است.

جدول ۲- مشخصات فیزیک شبیه‌سازی شده در میدان محاسباتی

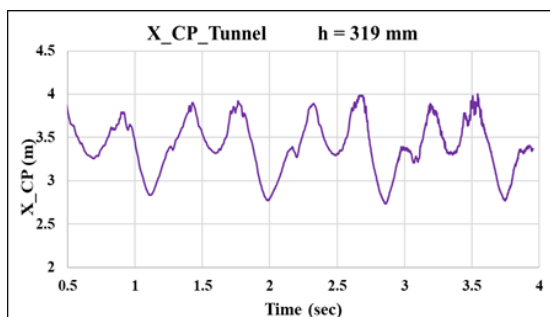
توضیح	وضعیت	عنوان
مدل: سه بعدی	Three-Dimensional	Space
درجات آزادی: ۲ درجه	2 DOF	DFBI
زمان‌بندی: حالت گذرا	Implicit Unsteady	Time
مدل‌سازی دینامیک شناور: اورست	Overset technique	Dynamic boundary Behavior
ماده: دو فاز (آب و هوا)	Eulerian Multi Phases	Material
مدل چندقدری: کسر حجمی	VOF	Eulerian Model
حلگر جریان: حلگر مجزا	Segregated Flow	Flow Solver
نوع جریان: مغشوش	Turbulent	Viscous Regime
معادله حالت: چگالی ثابت	Constant Density	Equation of State
مدل اغتشاشی: دومعادله‌ای	RANSE $SST\ k-\omega$	Turbulence Models

۵- نتایج

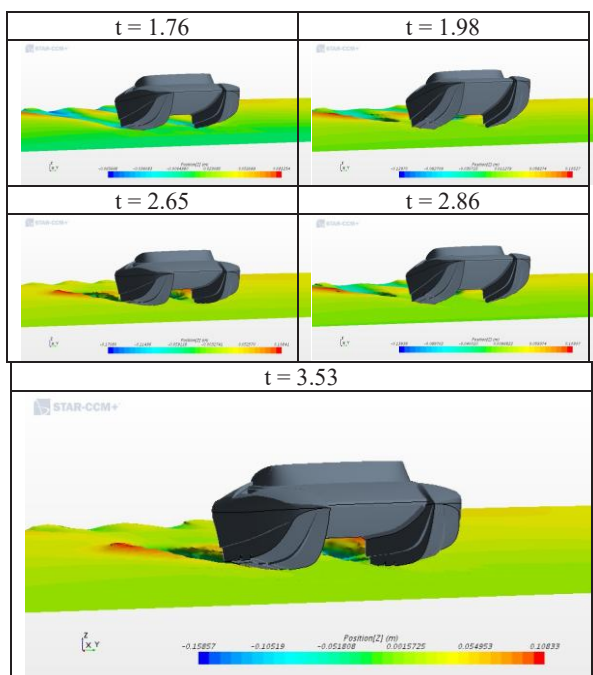
در شکل‌های ۱۲ و ۱۴ نتایج مربوط به ارتفاع تونل ۳۱۹ میلی‌متر در زمان‌های مختلف به ترتیب مربوط به کانتور فشار داخل تونل و نمای سه‌بعدی شناور نشان داده شده است. باتوجه به شکل‌های مذکور، در این وضعیت شناور پورپویزینگ داشته و پایداری طولی ندارد. همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد به علت عدم بالانس معادلات نیرو و گشتاور حول مرکز ثقل شناور این وضعیت اتفاق افتاده است. در نمودار شکل ۱۳، موقعیت اثر نیروی لیفت آیرودینامیکی تونل در زمان‌های مختلف نشان داده شده است. باتوجه به نمودار، موقعیت طولی محل اثر این نیرو از ۲/۷ متر تا ۴/۰ متر در حال جابه‌جایی است و این

² Implicit unsteady

¹ Volumetric Control



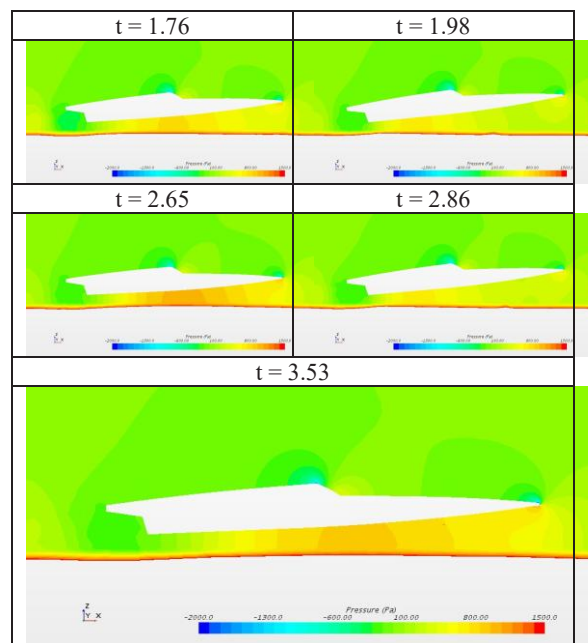
شکل ۱۳ - نمودار محل اثر نیروی لیفت آیرودینامیکی تونل در زمان‌های مختلف (ارتفاع تونل ۳۱۹ میلی‌متر، وضعیت ناپایدار)



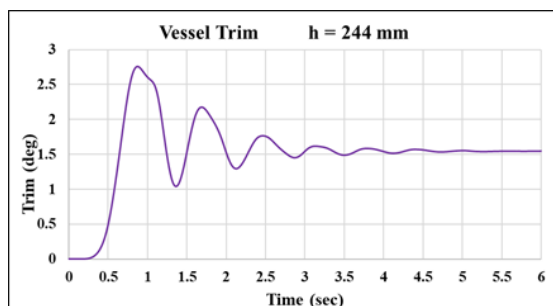
شکل ۱۴ - نمای سه‌بعدی شناور در زمان‌های مختلف (ارتفاع تونل ۳۱۹ میلی‌متر، وضعیت ناپایدار)

در نمودار شکل ۱۵ زاویه تریم شناور در دو وضعیت ارتفاع تونل ۳۱۹ و ۲۹۴ نشان داده شده است. باتوجه به این نمودار مقدار دامنه ماکزیمم زاویه تریم با کاهش ارتفاع تونل، کاهش یافته ولی همچنان شناور ناپایدار است. بنابراین در حالت سوم، با کاهش ارتفاع تونل به ۲۴۴ میلی‌متر، وضعیت شناور بررسی شده است. در نمودار شکل ۱۶، ۱۷ و ۱۸ به ترتیب کانتور فشار سیال هوا در داخل تونل شناور، نمودار زاویه تریم بر حسب زمان و نمای سه‌بعدی شناور در زمان‌های مختلف نشان داده شده است. نتایج حاصل شده نشان دهنده پایداری کامل شناور در ارتفاع تونل ۲۴۴ میلی‌متر است. در این وضعیت نیروی لیفت آیرودینامیکی به واسطه عبور جریان هوا از تونل شناور و پدیده اثر سطح، متناسب با وزن شناور و همچنین در موقعیت طولی مناسب نسبت به مرکز ثقل

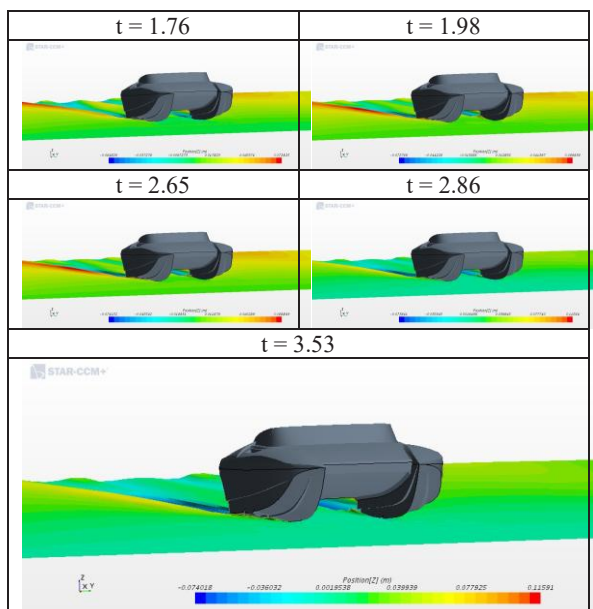
امر، موازنه معادله گشتاور حول مرکز ثقل را بر هم می‌زند. در نمودار شکل ۱۵، تریم شناور بر حسب زمان نشان داده شده است. یکی از دلایل اصلی عدم پایداری طولی شناور، سهم قابل توجه لیفت تولید شده توسط سیال هوا در داخل تونل شناور و جابه‌جایی محل اثر آن در این سرعت است. در زمان ۱/۷۶ موقعیت اثر این نیرو در جلوی مرکز ثقل شناور قرار دارد و باعث افزایش زاویه پیچ شناور خواهد شد. با افزایش زاویه پیچ شناور، هندسه کانال عبوری هوا متفاوت شده و در زمان ۱/۹۸ موقعیت اثر نیروی لیفت آیرودینامیک تونل به پشت مرکز ثقل منتقل می‌شود. این وضعیت باعث ایجاد گشتاور در جهت مثبت محور Y و کاهش زاویه پیچ شناور خواهد شد. علاوه بر آن، در این حالت ریزآپ شناور نیز کاهش یافته و تونل به سطح آب نزدیک می‌شود. در این وضعیت به دلیل پدیده اثر سطح و کم شدن فاصله تونل تا سطح آب، مقدار لیفت هوا به شدت افزایش یافته و همان‌طور که در زمان ۲/۶۵ مشاهده می‌شود گشتاور منفی و قابل توجهی از جانب هوای عبوری از تونل به شناور اعمال و باعث افزایش زاویه تریم و همچنین ریزآپ شناور خواهد شد و همین سیکل به صورت تناوبی تکرار و موجب عدم تعادل شناور می‌شود. به منظور اصلاح و ایجاد پایداری طولی، ارتفاع تونل شناور از ۳۱۹ به ۲۹۴ میلی‌متر کاهش یافت. هدف از این تغییر ایجاد لیفت آیرودینامیک متناسب با وزن شناور و موقعیت پایدار نسبت به مرکز ثقل شناور است.



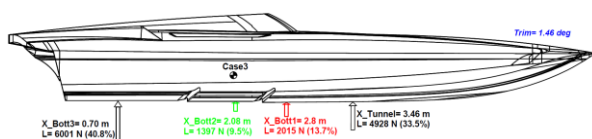
شکل ۱۲ - نمایش کانتور فشار داخل تونل در زمان‌های مختلف (ارتفاع تونل ۳۱۹ میلی‌متر، وضعیت ناپایدار)



شکل ۱۷ - نمودار تریم شناور در زمان‌های مختلف (ارتفاع تونل ۲۴۴ میلی‌متر، وضعیت پایدار)



شکل ۱۸ - نمای سه‌بعدی شناور در زمان‌های مختلف (ارتفاع تونل ۲۴۴ میلی‌متر، وضعیت پایدار)

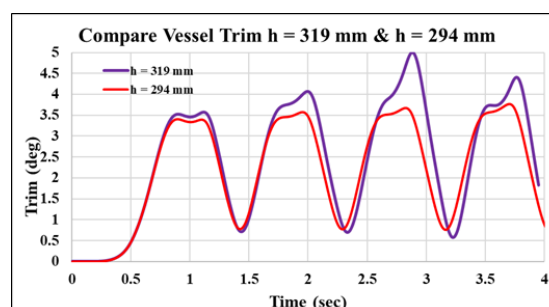


شکل ۱۹ - مقدار و محل اثر نیروهای لیفت هیدرودینامیکی و آیرودینامیکی بر روی شناور (ارتفاع تونل ۲۴۴ میلی‌متر، وضعیت پایدار)

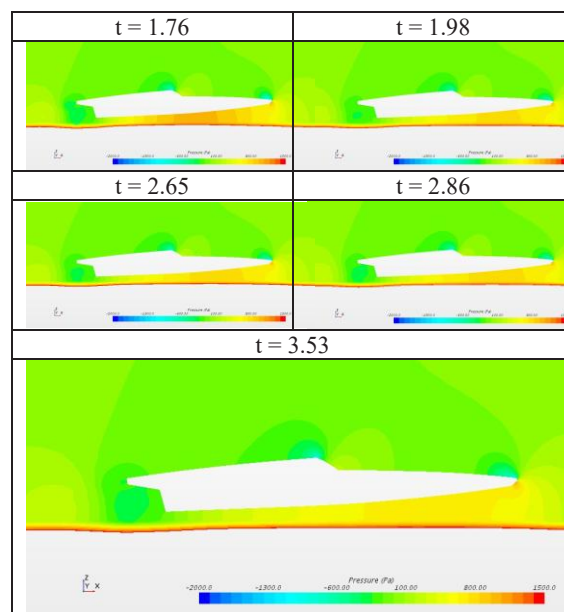
۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش پس از معرفی شناورهای فوق سریع که رژیم جریان آن‌ها در اعداد فرود بالای ۴ قرار دارد؛ بحث و بررسی موضوع پایداری طولی این شناورها با ذکر معادلات حاکم و تفاوت موجود نسبت به شناورهای تندروی مرسوم انجام شد. با بررسی مطالعات انجام گرفته به عدم دقت کافی روش‌های موجود که بر پایه تئوری‌های ساده شده و هندسه‌های استاندارد توسعه یافته‌اند اشاره شد و عنوان

قرار داشته و در تعادل با نیروهای هیدرودینامیکی است. نمودار شکل ۱۷ چگونگی دمپ شدن تریم و به وضعیت تعادل رسیدن شناور در زمان‌های مختلف نشان داده شده است. تریم دینامیکی نهایی شناور ۱/۴۶ درجه است. در شکل ۱۹ مقدار نیروی لیفت هیدرودینامیکی اجزاء Bottom1، Bottom2 و Bottom3 و همچنین لیفت آیرودینامیکی تونل به همراه موقعیت اثر آن‌ها و درصد تشکیل دهنده هر نیرو از وزن کل شناور نشان داده شده است. لیفت هوا ۳۳/۵ درصد از وزن شناور را تشکیل داده و فاصله آن نسبت به مرکز ثقل شناور، ۲۰ درصد از طول کل شناور می‌باشد.



شکل ۱۵ - نمودار تریم شناور در زمان‌های مختلف (ارتفاع تونل ۳۱۹ و ۲۹۴ میلی‌متر، وضعیت ناپایدار)



شکل ۱۶ - نمایش کانتور فشار داخل تونل در زمان‌های مختلف (ارتفاع تونل ۲۴۴ میلی‌متر، وضعیت پایدار)

[2] Nikolai Kornev, Lutz Kleinsorge., (2010), "Dynamics and Stability of racing boats with air wings," International Journal of Aerodynamics, Vol. 1, No. 1, 2010.

[3] Adair G. W. Williams, (2009), "Aerodynamic Forces on High-Speed Multi hulled Marine Vehicles," Phd Thesis, CRANFIELD University, Offshore Engineering & Naval Architecture Group.

[4] Doctors. L. Analysis of the efficiency of an ekranocat: A very-high-speed catamaran with aerodynamic alleviation. Royal Institution of Naval Architects, 1997.

[5] Walker. G, Fougner. A, Younger. S, and Roberts. T. Aerodynamics of high-speed multihull craft. In Fourth international conference on FAST, volume 1, pages 133-138, 1997.

[6] <http://www.class-1.com>

[7] Hockberger. W. The quadrimaran. In High-speed high-performance ships and craft symposium, American Society of Naval Engineers, 2005.

[8] Doctors. L. On the great trimaran-catamaran debate. In Proceedings of the fifth international conference on fast sea transportation, FAST, 1999.

[9] Tuck. E and Lazauskas. L. Unconstrained ships of minimum total drag. In www.cyberiad.net/hull.htm. University of Adelaide, 1996.

[10] Opstal, E.P.E. (2000) Longitudinal Stability of WIG Boats, 16 February, available at <http://www.se-technology.com/wig/html/main.php?open=stability&code=0>

[11] Nikolai Kornev, Lutz Kleinsorge, Gunther Migeotte, (2006). Dynamics and stability of racing boats with air wings.

[12] Konstantin Matveev & Nikolai Kornev., (2011), "Dynamics and Stability of boats with Aerodynamic Support," International Conference on Fast Sea Transportation, USA.

[13] MATVEEV, K. I. (2009), Study of power augmented ram vehicles, Proceedings, SNAME Annual Meeting, October 21-23, Providence, RI.

[14] Y. Liang, J.Cheng, W. Nong, (2001), "Investigation on aero hydrodynamic characteristics of dynamic air cushion wing in ground effect craft". In HPMV china.

گردید برای تعیین پایداری طولی یک شناور فوق سریع با هندسه دلخواه، می‌توان از ابزارهای جدید با در نظر گرفتن شرایط فیزیکی حاکم و مدل‌سازی صحیح جریان، استفاده نمود. ابزار مورد استفاده نرم‌افزار دینامیک سیالات محاسباتی استار سی‌سی‌ام پلاس است که در آن، یک شناور دودبند ترکیبی با طول ۷ متر و عدد فرود ۵/۲ در مقیاس کامل و ۲ درجه آزادی شبیه‌سازی شده است. مهمترین نکته در شبیه‌سازی شناور فوق سریع با استفاده از CFD این است که با توجه به تفاوت تشابه سینماتیکی و دینامیکی عدد رینولدز و عدد فرود برای جریان هوا و آب، برخلاف شناور تندرو نمی‌توان مدل کوچک شده با ضریب مقیاس λ را شبیه‌سازی نمود. بنابراین بایستی مدل فول اسکال شناور شبیه‌سازی شود که طبیعتاً منجر به افزایش هزینه‌های محاسباتی خواهد شد. با کد نوشته شده در نرم‌افزار مذکور، مقدار نیروهای لیفت آیرودینامیکی و هیدرودینامیکی بر روی سطوح لیفت‌ساز به همراه موقعیت اثر آن‌ها در هر گام زمانی محاسبه می‌شود. اطلاع از مقدار نیروهای لیفت هر قسمت و موقعیت اثر آن، به تحلیل نتایج و طراحی فرم بدنه مناسب جهت استفاده از آیرودینامیک در شناور تندرو جهت رسیدن به سرعت‌های خیلی بالا و افزایش راندمان هیدرودینامیکی آن‌ها خواهد شد. نتایج عددی شبیه‌سازی شناور در سه ارتفاع تونل ۳۱۹، ۲۹۴ و ۲۴۴ میلی‌متر نشان داد که شناور در دو ارتفاع تونل ۳۱۹ و ۲۹۴ میلی‌متر ناپایدار است و توازن نیروها حول مرکز ثقل، برقرار نمی‌باشد. با کاهش ارتفاع تونل به ۲۴۴ میلی‌متر، میزان لیفت تولید شده توسط تونل به واسطه عبور سیال هوا از آن و همچنین پدیده اثر سطح، متناسب با وزن شناور بوده و محل اثر آن نیز در موقعیت مطلوب قرار دارد. در این حالت توازن نیروهای هیدرودینامیکی و آیرودینامیکی؛ منتج به ارضا شدن معادلات حرکت هیو و پیچ شناور و پایداری دینامیکی شده است. در این حالت لیفت هوا ۳۳/۵ درصد از وزن شناور را تشکیل داده و فاصله آن نسبت به مرکز ثقل شناور، ۲۰ درصد از طول کل شناور می‌باشد.

مراجع

[۱] علی اصغر مقدس آهنگری، سید خلیل شریعتی. (۱۳۹۱)، "اصلاح تجربی پورپویزینگ در شناور تندرو بدون سرنشین"، دومین همایش ملی شناورهای تندرو، تهران.

[۱۵] محمدسعید سیف، امین نجفی، (۱۳۹۲)، "دینامیک متحرک-های دریایی"، موسسه انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، تهران..

[16] Y. Ikeda, H. Yoshimatsu, and A. Matsumoto, HYDRODYNAMIC FORCE ACTING ON A HIGH-SPEED CRAFT MOVING IN CALM WATER AND HEAD WAVES, Journal of the Kansai Society of Naval Architects (1988).

[17] Maurizio Collu, (2008), "Dynamics of Marine Vehicles with Aerodynamic Surfaces," Phd Thesis, CRANFIELD University, Offshore Engineering & Naval Architecture Group.

[۱۸] احمد حاجیوند، مهدی حسنی، مهدی بابائی، محسن صادقیان. (۱۳۹۵)، "تعیین ضرایب هیدرودینامیکی یک ربات هوشمند زیرآبی در محیط دینامیک سیالات محاسباتی"، فصلنامه علمی-پژوهشی دریا فنون، دانشگاه علم و صنعت ایران.

[۱۹] مهدی بابائی، سیدحسین موسوی زادگان، محمدرضا حیرانی نوبری. (۱۳۹۳)، "مدلسازی عددی تست مکانیزم حرکت صفحه‌ای جهت محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی مانور شناورهای زیرسطحی"، انجمن مهندسی دریایی ایران.

تأثیر آموزش شناورهای بادبانی در ارتقای مهارت‌های دریانوردان

مصطفی مسلمی^۱، علیرضا راه‌چمنی^۲

۱ و ۲ دانشجوی مدیریت راهبردی نظامی، دانشگاه دفاع ملی، تهران، ایران

چکیده:

استفاده از نیروی رایگان باد از دیرباز موردتوجه بشر بوده است. در تاریخچه کشتی‌سازی کشتی‌هایی را می‌یابیم که نیروی محرکه اصلی آن‌ها نیروی باد بوده است. این حقیقت که استفاده آموزشی از این نوع شناورها تأثیرات مثبتی بر دریانوردان دارد قابل کتمان نیست از آن جمله می‌توان به لمس بیشتر شرایط بد دریا، آشنایی بیشتر با بادهای و جریانات دریایی، ورزشی و چالاک‌ی روی شناور، بالا بردن قدرت تصمیم‌گیری لحظه‌ای و غیره اشاره نمود. روش تحقیق حاضر کاربردی از نوع توصیفی تحلیلی محسوب می‌گردد. جامعه آماری تحقیق حاضر متشکل از ۴۰ نفر از خبرگان در حوزه شناورهای بادبانی است که از این بین، ۳۶ نفر با استفاده از روش نمونه‌گیری غیر احتمالی در دسترس مورد ارزیابی قرار گرفتند. داده‌های لازم با استفاده از پرسشنامه جمع‌آوری گردید و با نرم‌افزار spss25 تجزیه و تحلیل شد. نتایج این تحقیق نشان داد که آشنایی کامل با هواشناسی و بادهای موسمی و محلی دارای بالاترین اولویت و رادار دارای کمترین اولویت در ارتقای مهارت‌های دریانوردان بودند.

واژه‌های کلیدی:

دریا نوردی، شناورهای بادبانی، دریانورد، مهارت‌های دریا نوردی

The impact of sailing vessel training on improving seafarers' skills

Mostafa Moslemi¹, Alireza Rahchamani²

1,2, Military Strategic Management Student, National Defense University, Tehran, Iran

Abstract

The use of free wind power has long been of interest to mankind. In the history of shipbuilding, we find ships whose main driving force was wind power. The fact that the educational use of this type of vessel has positive effects on sailors cannot be hidden. These include greater exposure to bad sea conditions, greater familiarity with winds and sea currents, agility and agility on the vessel, increasing the power of instantaneous decision-making, etc. The method of the present research is considered an applied descriptive-analytical type. The results of this research have shown that complete familiarity with meteorology and monsoon and local winds had the highest priority and radar had the lowest priority in improving sailors' skills. Methodology of the present study: The statistical population of the present study consisted of 40 experts in the field of available sailing vessels. The necessary data were collected using a questionnaire and analyzed with SPSS 25 software.

Keyword

Sailing, sailing vessels, sailors, sailing skills

۱. مۇقەددىمە

ھزاران سال پېش، باد بەئەنۋان تېنھا مەنبە ئىنژى، نەقش مەھمى در جابەجایی انسانها در دریاها ایفا کرد. این منبع طبیعی به بشر این امکان را داد که مسافت‌های طولانی را از دریای مدیترانه تا اقیانوس اطلس بپیماید و بدین ترتیب، امکان توسعه تمدن‌ها و ارتباطات بین نقاط مختلف جهان فراهم شد. در این راستا، بادبانی به‌عنوان کلید توسعه تمدن در نواحی مدیترانه محسوب می‌شود و قدمت ورزش بادبانی به تاریخ قایقرانی و کشتیرانی بشر برمی‌گردد. قایق‌های بادبانی اولیه، که عمدتاً از چوب و پارچه ساخته می‌شدند، به مرور زمان با پیشرفت‌های فناوری و نوآوری‌های علمی، به سازه‌های پیچیده و کارآمد تبدیل شدند (ویکی‌پدیا فارسی، ۱۳۹۷).

در حال حاضر، قایق‌های بادبانی در انواع مختلف و با نام‌های متفاوتی بر اساس طراحی بدنه و نوع بادبان‌ها شناخته می‌شوند. این قایق‌ها نه تنها در قایق‌رانی تفریحی و ورزشی به کار می‌روند، بلکه کاربردهای نظامی، پژوهشی و تجاری نیز دارند. به‌ویژه، قایقرانی بادبانی به‌عنوان یکی از رشته‌های ورزشی قدیمی، از زمان‌های دور در دریاها و رودخانه‌ها رواج داشته است. به‌عنوان مثال، مسابقات قایق‌های بادبانی در قالب مسیرهای مشخصی، به‌ویژه در آب‌های آزاد، برگزار می‌شود و هدف آن‌ها پیمایش سریع مسیرهای تعیین‌شده است. این رشته ورزشی از بازی‌های المپیک تابستانی ۱۹۰۰ تا به امروز، به‌طور مستمر ادامه دارد (ویکی‌پدیا فارسی، ۱۳۹۷).

پیشرفت علم و فناوری تأثیر شگرفی بر طراحی و ساخت قایق‌های بادبانی گذاشته است. به‌کارگیری علوم هوافضایی و پیشرفت‌های در مواد ترکیبی و هیدرودینامیک منجر به ظهور نسل جدیدی از قایق‌های تندرو بادبانی شده است که به‌طور چشمگیری توانایی‌های دریانوردی را افزایش داده است. به‌عنوان مثال، قایق‌های تندرو بادبانی، مانند راکت دریایی، با سرعت‌های نزدیک به ۵۰ نات در اوایل سال ۲۰۱۲ به بازار معرفی شدند (انتظاری، ۱۳۹۲: ۵۷). این تحولات، نه تنها بر صنعت دریانوردی تأثیر گذاشته‌اند، بلکه آموزش و مهارت‌های دریانوردی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند.

در دهه دوم قرن بیست‌ویک، قدرت‌های دریایی بزرگ دنیا، از جمله آمریکا، انگلستان، کانادا و استرالیا، با وجود

پیشرفت‌های قابل توجه در علوم و صنایع دریایی، به آموزش دریانوردان خود با استفاده از قایق‌های بادبانی ادامه می‌دهند. در نیروی دریایی سپاه، آموزش شناورهای بادبانی از سال ۱۳۹۱ آغاز شده و تعداد ۱۷ مربی در این زمینه تربیت شده‌اند تا به آموزش دیگر کارکنان بپردازند. اهمیت این آموزش‌ها در افزایش سطح مهارت‌های دریانوردی و تأثیرگذاری آن‌ها بر عملکرد دریانوردان به‌ویژه در زمینه‌های نظامی و تجاری، از جمله دلایل اساسی برای انجام این پژوهش است.

ارزیابی تأثیر این آموزش‌ها بر مهارت‌های دریانوردان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، چراکه این مهارت‌ها می‌توانند به بهبود عملکرد فردی و سازمانی و در نتیجه به موفقیت در مأموریت‌های دریایی کمک کنند.

در این راستا، هدف اصلی این تحقیق پاسخ به این پرسش کلیدی است که آموزش شناورهای بادبانی چه تأثیری بر ارتقای مهارت‌های دریانوردی دارد؟

مفهوم شناسی

آموزش: آموزش تجربه‌ای است مبتنی بر یادگیری و به‌منظور ایجاد تغییرات نسبتاً پایدار در فرد، تا او را قادر به انجام کار و بهبود بخشی توانایی‌ها، تغییر مهارت‌ها، دانش، نگرش و رفتار اجتماعی شود. بنابراین آموزش به مفهوم تغییر دانش، نگرش و تعامل به همکاران است. آموزش مستلزم استفاده از برنامه‌های پیش‌بینی‌شده‌ای است که شایستگی‌های موجود در کارکنان را تقویت و موجب کسب دانش، مهارت و توانایی‌های لازم در فرد گردد، به‌گونه‌ای که بهبود عملکرد شغلی را تسهیل نماید (رضایی کلیدبری و همکاران، ۱۳۹۱: ۵۶).

دریانوردی و دریانورد: دریانوردی به مجموعه‌ای از دانش‌ها و مهارت‌ها اطلاق می‌شود که برای حرکت و ناوبری بر روی دریاها و توده‌های آبی بزرگ ضروری است. به عبارتی دیگر، دریانوردی به قابلیت‌های لازم برای حضور مؤثر در دریا اشاره دارد و فردی که به این فنون تسلط دارد، دریانورد نامیده می‌شود. این مهارت‌ها شامل ناوبری، شناور بودن، جهت‌یابی و استفاده از ابزارهای مختلف برای تعیین موقعیت در دریا هستند (Seymour, 2023:5).

محققان و مهندسان قرار گرفته‌اند. حوزه شناورهای بادبانی در حال توسعه سریع است و با پیشرفت تکنولوژی، کاربردهای آن نیز گسترش می‌یابد. محققان و مهندسان به طور مداوم در تلاش‌اند تا چالش‌ها را شناسایی کرده و راه‌حل‌هایی برای بهبود کارایی و امنیت این شناورها ارائه دهند. در زیر به برخی از موضوعات و مقالات پرستنداد در این حوزه اشاره می‌شود. این جدول شامل اطلاعات دقیق‌تری از مقالات پرستنداد در حوزه شناورهای بادبانی است. که می‌تواند به عنوان مرجع مفیدی برای تحقیقات و مطالعات بیشتر مورد استفاده قرار گیرد.

مهارت‌های دریانوردی: مهارت‌های دریانوردی به مجموعه‌ای از توانایی‌ها و دانش‌های مورد نیاز برای هدایت و مدیریت یک کشتی در دریاها اشاره دارد. این مهارت‌ها شامل توانایی‌های لازم برای تعیین موقعیت، انتخاب مسیر و جلوگیری از تصادف با دیگر کشتی‌ها می‌شود. به طور خاص، دریانوردان باید بتوانند با استفاده از روش‌های مختلف، از جمله ناوبری نجومی و ابزارهای مدرن، نقاط و مسیرهای خود را شناسایی کنند و به یک مقصد مشخص برسند. برای تعریف دقیق‌تر، مهارت‌های دریانوردی شامل آگاهی از وضعیت آب و هوا، جریان‌های دریایی و ویژگی‌های مختلف جغرافیایی است که می‌تواند بر سفر دریایی تأثیر بگذارد. این مهارت‌ها همچنین شامل توانایی کار با تجهیزات و فناوری‌های نوین است که برای ناوبری و ارتباطات دریایی ضروری هستند (Knotts, ۲۰۲۱: ۴۲).

شناور بادبانی: شناور بادبانی، نوعی قایق است که عمدتاً با استفاده از نیروی باد برای حرکت در آب به کار می‌رود. این قایق‌ها معمولاً دارای بادبان‌هایی هستند که انرژی باد را به حرکت تبدیل می‌کنند و به همین دلیل به عنوان یک نوع ناو بادبانی شناخته می‌شوند (همان، ۴۵).

باد: جابجایی مکانی یک توده (بسته) هوایی را «باد» می‌نامند که در اثر عوامل مختلف طبیعی و مصنوعی امکان‌پذیر است. باد، جریان هوای آزاد در جو زمین است که به دلیل تفاوت فشار در نواحی مختلف ایجاد می‌شود. این جابجایی هوا می‌تواند تأثیرات زیادی بر روی آب و هوا، اکوسیستم‌ها و فعالیت‌های انسانی داشته باشد (Ahrens, 2018: 112).

مهارت: مهارت به توانایی فرد در به‌کارگیری دانش و تجربیات برای انجام وظایف خاص به‌طور مؤثر و کارآمد در موقعیت‌های مختلف اشاره دارد. این توانایی شامل یادگیری، تمرین و به‌کارگیری تکنیک‌ها و روش‌های مناسب است (Sternberg & Sternberg, 2020: 45).

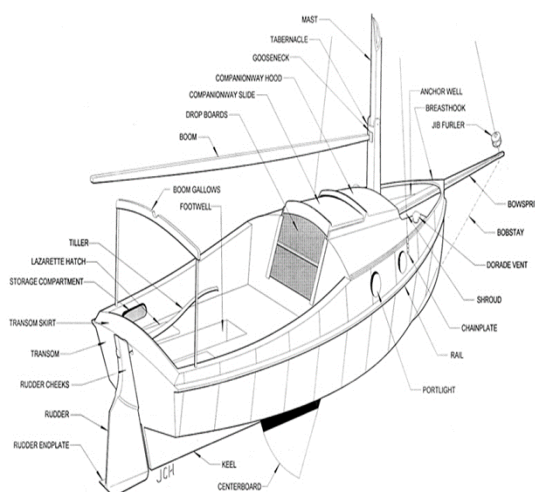
۲. مروری بر مقالات پر استنداد در حوزه شناورهای بادبانی

شناورهای بادبانی به دلیل قابلیت‌های منحصر به فردشان در کاربردهای نظامی و غیرنظامی، مورد توجه بسیاری از

جدول ۱-لیستی از مقالات پراستناد در حوزه شناورهای بادبانی

ر	عنوان	نویسنده	سال چاپ	محل چاپ	نتایج
۱	نیازسنجی مهارت‌های فرماندهان ناوگروه‌های خوداتکاء ندسا	مهدی اختیاری	۱۳۹۵	دانشگاه جامع امام حسین(ع)، دانشکده دافوس	مهارت‌های مدیریتی، عملیاتی و آموزشی فرماندهان در مقابله با تهدیدات سطحی تسهیل می‌کند.
۲	بررسی مهارت‌های مورد نیاز مدیران پاسداران انقلاب اسلامی	سید محمد نیاز حسینی	۱۳۸۴	دانشگاه جامع امام حسین(ع)، دانشکده دافوس	بین مهارت‌های مدیران و کارایی آن‌ها رابطه معناداری وجود دارد و مهارت‌ها بین متوسط الی خوب است.
۳	بررسی آموزش‌های مورد نیاز لشکر زاده نیرو مخصوص حضرت سیدالشهدا علیه‌السلام	مهدی صباغ زاده	۱۳۸۷	دانشگاه جامع امام حسین(ع)، دانشکده دافوس	کارکنان در حوزه‌های وظایف تاکتیکی، انفرادی و عمومی نیازهای آموزشی دارند
۴	نقش انرژی باد در صنعت کشتی‌سازی	محمد خراشاد	۱۳۹۱	همایش ملی انرژی باد و استفاده می‌کنند را خورشید	انواع سیستم رانشی که از انرژی باد و استفاده می‌کنند را ذکر و نقاط ضعف و قوت هریک را بیان کنیم.

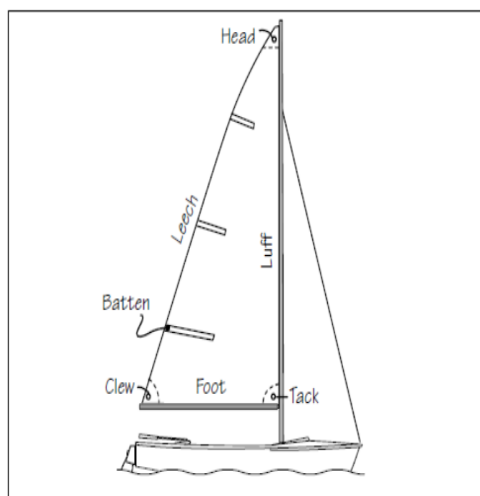
۳. معرفی قسمت‌های مختلف قایق:



شکل ۱- قسمت‌های مختلف بدنه

اجزای بادبان:

نام اجزای بادبان در شکل زیر نمایش داده شده است.



شکل ۲- اجزای بادبان

- گوشه بالای بادبان
- گوشه پایین بادبان که به دکل متصل است
- گوشه پایین و بیرون بادبان
- لبه پایینی بادبان
- لبه پشتی (وتر) بادبان
- لبه جلوی بادبان که به دکل اصلی متصل است
- نوارهای سخت بکار رفته روی لبه بادبان که برای استحکام بیشتر در سرتاسر آن وجود دارد.

اهرم سکان: تمام قایق‌ها سکان دارند و یک باله زیر آب که می‌تواند قایق را بچرخاند. این سکان به یک دسته متصل



شکل ۴- وینچ

بارگذاری بر روی یک وینچ: وینچ‌ها معمولاً در یک جهت کار می‌کنند. به‌طور کلی وینچ‌ها در جهت عقربه‌های ساعت کار می‌کنند ولی نه همیشه. بهترین راه بررسی گذاشتن یکدست روی وینچ‌ها (قبل از پیچیدن طناب به دور آن) و چرخاندن آن با دستانتان می‌باشد. طناب باید در همان جهتی که وینچ می‌چرخد دور آن پیچانده شود.

برای بارگذاری روی یک وینچ، طناب را در جهتی که وینچ می‌چرخد دور آن بپیچانید. در هنگام پیچاندن طناب دور وینچ باید از پایین وینچ شروع کنید و به سمت بالا بیاورید. بعد از هر چرخش باید سطح طناب روی وینچ صاف باشد و نباید طناب‌های در هنگام چرخش روی هم بیایند.

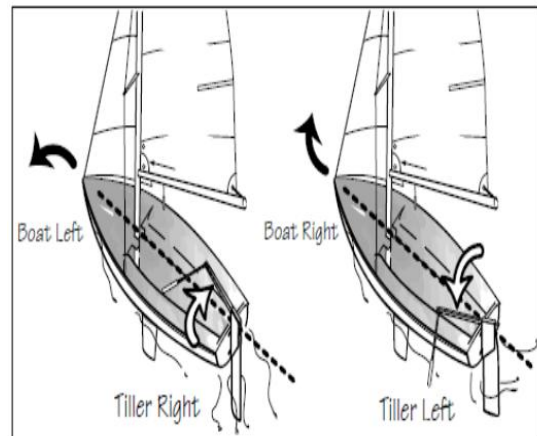
هرچه دورهای طناب روی وینچ بیشتر باشد، اصطکاک و قدرت نگه‌داشتن وینچ بیشتر می‌شود. شما باید حداقل ۳ و یا شاید ۴ دور طناب دور وینچ بپیچانید (ناخدهای باتجربه از دورهای کمتری استفاده می‌کنند). وینچ نشان داده‌شده در شکل از نوع دارای قفل در مقابل چرخش در جهت عکس می‌باشد.

مجموعه‌ای از گیره‌ها در داخل آن می‌باشد که وقتی طناب در جهت چرخش عکس به آن‌ها فشار می‌آورد وینچ را قفل می‌کند تا طناب بتواند به وضعیت ایمنی برسد. اگر وینچ از نوع self-tailing نباشد، انتهای آزاد طناب یا باید به وسیله دست نگه‌داشته شود و یا به یک بولارد (موت) بسته شود تا به وضعیت ایمن دست پیدا کنیم.

چرخاندن یک وینچ: برای اعمال فشار بیشتر، شما می‌توانید یک دستگیره روی وینچ بگذارید. دستگیره به بالای وینچ می‌رود و می‌تواند چرخانده شود. در کل شما می‌توانید دستگیره را در هر دو جهت بچرخانید. بدنه وینچ

است. اهرم سکان که شما از آن برای حرکت استفاده می‌کنید.

شما با استفاده از یک اهرم سکان می‌توانید قایق‌های بادبانی کوچک را هدایت کنید. استفاده از اهرم سکان برای اولین بار وقت‌گیر است زیرا قایق به سمت مخالف حالت اهرم سکان حرکت می‌کند. اگر شما اهرم سکان را به سمت چپ حرکت بدهید قایق به سمت راست خواهد رفت و اگر به سمت راست حرکت بدهید قایق به سمت راست خواهد رفت.



شکل ۳- نحوه اعمال تیغه سکان

هدایت کردن قایق بادبانی به خودرو هم شباهت دارد در اینکه دور زدن در حالت حرکت راحت‌تر از دور زدن در حالت ایستاده است (و این حقیقت که شما وقتی ایستاده‌اید نمی‌توانید دور بزنید). بنابراین وقتی سریع حرکت می‌کنید با چرخش کمتر اهرم به زاویه چرخش بیشتری دست می‌یابید. برای چرخش در سرعت پایین دور زدن بسیار سخت است و باید سکان را مدت زیادی نگه‌دارید

وینچ‌ها: گاهی اوقات نیروهای وارده به بادبان‌ها در هنگام دریانوردی بیشتر از آن است که یک انسان بتواند آن را کنترل کند. برای مهار این نیروها از وینچ‌ها استفاده می‌کنیم. وینچ یک دستگاه مکانیکی است که می‌تواند نیروی وارده از طرف شما به طناب را چند برابر بیشتر کند. به دلیل بزرگی نیروهای اعمال‌شده به وینچ‌ها، آن‌ها می‌توانند خطرناک باشد. شما باید انگشت‌هایتان را دور از قسمتی از طناب که در حال پیچش دور وینچ است نگه‌دارید اگر نمی‌خواهید آن‌ها را از دست بدهید.

هنوز هم فقط در یک جهت می چرخد، ولی جهت های مختلف چرخش دستگیره سرعت و قدرت متفاوتی را روی وینچ اعمال می کند.

اگر نتوانستید دستگیره را در یک جهت بچرخانید، چرخاندن در جهت دیگر را امتحان کنید.

هرگز دستگیره را روی وینچ رها نکنید زیرا آن ها گران هستند و ممکن است به دریا بیفتند. همیشه آن ها را درآورید و کنار بگذارید. بدین ترتیب در هنگام استفاده مجدد از آن می توانید به راحتی آن را پیدا کنید. معمولاً یک اهرم در بالای وینچ قرار دارد که شما باید آن را حرکت داده یا فشار دهید تا دستگیره وینچ بیرون بیاید.

آزاد کردن وینچ: برای آزاد کردن طناب روی وینچ لازم نیست حتماً آن را از روی وینچ باز کنید. طناب به راحتی با گرفتن انتهای آزاد طناب و جا دادن آن در داخل وینچ آزاد می شود. بدین ترتیب قسمت طناب پیچ روی وینچ شل می شود، کشش سمت دیگر وینچ، به آهستگی طناب را از دور وینچ باز می کند و به شما اجازه می دهد طناب را تحت کنترل، آزاد کنید.

طناب گیر: طناب ها گرایش به در رفتن و آزاد شدن دارند، مگر اینکه بی خطر باشند یا کاملاً سفت شوند.

طناب گیر یک دستگاه مکانیکی است که از طریق پرس کردن طناب بین دو گیره خود، آن را ایمن می کند. گیره ها توسط یک اهرم روی طناب گیره طناب را پرس می کنند. برای آزاد کردن طناب از طناب گیر، بایستی اهرم را بالا بکشید و کاملاً به سمت جلو هل دهید تا زمانی که با راستای طناب موازی شود. تا نیمه باز کردن اهرم خوب نیست! برای بستن طناب گیر آن را پایین و عقب بکشید تا با راستای طناب موازی شود.

اگر طناب گیر، به طور معمول باز نشد، بدین معناست که طناب تحت کشش قرار دارد. بایستی با دست نیروی وارد به طناب از جانب وینچ را برداشت قبل از اینکه طناب گیر باز شود. تلاش برای باز کردن طناب گیر تحت فشار خطرناک است.



شکل ۵- طناب گیر

آشنایی با طناب و گره: دریانورد در شناور بادبانی لاجرم باید از انواع طناب ها استفاده نماید. وی جهت مهار دکل و بادبان ها باید این طناب ها را به کارگیری نموده و با نحوه ی گره زدن این طناب ها نیز آشنا شود. بی شک وجود طناب های زیاد در شناور بادبانی و نحوه ی کار و جمع آوری و همچنین ترتیب چیدمان این طناب ها و انواع گره های مورد نیاز برای مهار دفراها و بادبان ها باعث افزایش مهارت دریانورد در امور ملوانی خواهد شد.

۴. مهارت های مورد نیاز دریانوردی با شناورهای بادبانی:

در این تحقیق بر اساس دکتربین کتاب سبز مهارت عبارت است از مجموعه ای از توانایی ها که بر اثر تکرار و مداومت در اجرا به مهارت می انجامد. منظور از مهارت های دریانوردی عبارت است از:

- دتوانایی به کارگیری سیستم های مختلف ناوبری رادار، موقعیت یاب جهانی، قطب نما، سیستم مخابراتی، بادسنج و بادنما، عمق سنج، اتو پایلوت

- توانایی بهره گیری از قوانین بین المللی راه

- توانایی بکارگیری از بادها در شناورهای بادبانی

- توانایی دریانوردی برد بلند با شناورهای بادبانی

- توانایی در اجرای مانورهای مختلف مثل عملیات پهلوگیری، جدا شدن، لنگر انداختن و دریانوردی در شرایط مختلف

- توانایی در اجرای مانور پهلوگیری در مهار طناب و استفاده دفرا و ضربه گیر

- توانایی در به کارگیری کلیه تجهیزات ملوانی

- توانایی در اجرای کنترل صدمات (اطفای حریق، شکستگی دکل، پارگی بادبان، آب گرفتگی)

- توانایی شناخت کامل بدنه عمومی شناور

- توانایی در گرفتن سکان و انجام مانور در شرایط لازم و اضطرار

- توانایی کامل با سیستم برقی شناور و تابلوهای آن

- توانایی بهره گیری موتور شناور بادبانی

مهارت کاربری با سیستم های مختلف ناوبری: رادار، ۱- موقعیت یاب جهانی GPS یا سیستم موقعیت یاب جهانی: یک

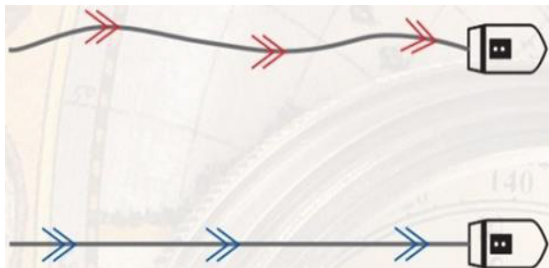
برای یک ناوبر ممکن است کارایی داشته باشد چراکه در یک ناوبری طولانی برای داشتن موقعیت تخمینی لازم است اطلاعات خوب و صحیحی از راه و سرعت کشتی خودی داشته باشد.

در دریا ممکن است سرعت نسبت به کف دریا و یا نسبت به سطح آب سنجیده شود که هر دو آن‌ها در سیستم ناوبری امروزی جایگاه خاص خود را دارند. از آنجایی که جهت اندازه‌گیری سرعت کشتی از روش‌های مختلفی استفاده شده است به همین دلیل سرعت سنج‌ها نیز انواع مختلفی پیدا کرده‌اند، در اینجا چند نمونه از سرعت سنج‌های متداول بر روی شناور تشریح می‌شود: سرعت سنج چرخنده، سرعت سنج پروانه‌ای، سرعت سنج لوله فشاری، سرعت سنج الکترومغناطیسی، سرعت سنج صوتی، سرعت سنج داپلری.

توانایی در به‌کارگیری سیستم اتو پایلوت سکان:

عوامل بیرونی، نظیر جریان‌های باد و آب، پیوسته مسیر حرکت کشتی را تغییر می‌دهند و سبب انحراف کشتی از مسیر اصلی تعیین شده می‌شوند همین امر حرکت در مسیری طولانی را دچار مشکل می‌کند و نیازمند کنترل لحظه به لحظه جهت و مسیر حرکت کشتی توسط ملوان می‌باشد. دستگاه سکان‌دار مسیر حرکت کشتی را در جهت مشخص شده توسط ملوان، به‌طور ثابت نگه می‌دارد و در هر ثانیه تمامی متغیرهایی را که منجر به انحراف کشتی از مسیر اصلی خود می‌شوند را کنترل می‌کند و آن‌ها را با اطلاعات ورودی هماهنگ می‌سازد.

سکان‌دار در حقیقت با ارسال فرمان به سکان کشتی، همواره جهت حرکت کشتی را بر اساس اطلاعات دریافتی از GPS و جاپرو تصحیح می‌کند و سبب قرارگیری کشتی در مسیر موردنظر می‌شود بدون آنکه نیازمند کنترل لحظه به لحظه توسط نیروی انسانی باشد.



شکل ۱- تفاوت بین استفاده از سیستم اتو پایلوت و حالت عادی

سیستم راهبری و مسیریابی ماهواره‌ای است که از شبکه‌ای با حداقل ۲۴ ماهواره تشکیل شده است. این ماهواره‌ها به سفارش وزارت دفاع ایالات متحده ساخته و در مدار زمین قرار داده شده‌اند.

اولین ماهواره جی‌پی‌اس در سال ۱۹۷۸ در مدار زمین قرار گرفت. در فوریه سال ۱۹۸۹ آرایشی ماهواره‌های شبکه GPS با ۲۴ عدد ماهواره NAVSTAR تکمیل گردید. جی‌پی‌اس در ابتدا برای مصارف نظامی تهیه شد ولی از سال ۱۹۹۰ استفاده عمومی آن آزاد و آغاز شد. خدمات این مجموعه در هر شرایط آب و هوایی و در هر نقطه از کره زمین در تمام شبانه‌روز در دسترس است و استفاده از آن رایگان است. علاوه بر جی‌پی‌اس، دو سیستم مشابه دیگر نیز وجود دارد: سیستم گلوناس که دولت شوروی ساخته و اکنون به دست کشور روسیه اداره می‌شود و سیستم گالیله که کشورهای اروپائی آن را برای وابسته نبودن به سیستم آمریکائی جی‌پی‌اس ساخته‌اند.

۲- قطب‌نما: قطب‌نماهایی که با نیروی مغناطیسی زمین جهت‌یابی می‌کنند، به تدریج جای خود را به گیرنده‌های جی‌پی‌اس خواهند داد؛ جی‌پی‌اس، سامانه‌ای است که به کمک گروهی از ماهواره‌ها جهت‌یابی می‌کند. ماهواره‌هایی که هرکدام در مدارهای خود به دور زمین در گردش‌اند؛ این ماهواره‌ها با ایستگاه‌های ویژه‌ای بر روی زمین در تماس‌اند و همواره موقعیت آن‌ها در فضا مشخص است. دستگاه گیرنده جی‌پی‌اس گیرنده، با ارتباط با تعدادی از این ماهواره‌ها، فاصله گیرنده تا آن‌ها را تعیین می‌کند و سپس موقعیت دقیق گیرنده روی زمین به دست می‌آید.

۳- عمق‌یاب: وسیله دیگری که مورد استفاده قرار می‌گیرد، عمق‌یاب است. عمق‌یاب کشتی یک وسیله کمک ناوبری است که با توجه به عملکرد آن نوعی سونار است. عمق‌یاب به منظور اندازه‌گیری عمق زیر کشتی انرژی صوتی را در آب دریا منتشر می‌کند و پس از انعکاس موج صوتی از بستر دریا، آن را دریافت کرده با محاسبه زمان رفت و برگشت موج و تقسیم آن بر ۲ و داشتن سرعت صوت در آب می‌توان عمق زیر شناور را اندازه‌گیری نمود.

۴- سرعت سنج: سرعت سنج نیز وسیله کمکی دیگری است که مورد استفاده قرار می‌گیرد. اندازه‌گیری سرعت شناور از دیرباز یکی از مهم‌ترین مسائل کشتی بوده است. دستگاه سرعت سنج نیز همانند سایر دستگاه‌های کمک ناوبری

توانایی بکارگیری قوانین بین‌المللی راه: دقیقاً مانند ماشین‌ها، قایق‌ها قوانینی دارند که اتفاقاتی را که در برخورد باهم در دریا صورت می‌گیرد کنترل می‌کنند. در قوانین زیر، قانونی با شماره کمتر نسبت به قانونی با شماره بیشتر ارجحیت پیدا می‌کند. برای مثال اگر یک قایق موتوری به یک قایق بادبانی نزدیک شود (قانون ۷) قایق موتوری باید به قایق بادبانی راه بدهد (قانون ۲).

- ۱- همه به قایق‌هایی که لنگر انداخته‌اند راه می‌دهند.
 - ۲- قایق موتوری به قایق بادبانی راه می‌دهد.
 - ۳- قایق بادبانی در برابر قایق بادبانی: یک قایق با تک چپ به قایق با تک راست راه می‌دهد.
 - ۴- قایق بادبانی در برابر قایق بادبانی: اگر در یک مسیر باشند قایق روبه باد به قایق پشت به باد راه می‌دهد.
 - ۵- قایق بادبانی در برابر قایق بادبانی: قایق در حال چرخیدن و یا تغییر مسیر به قایق بادبانی راه می‌دهد.
 - ۶- قایق موتوری در مقایسه با قایق موتوری (در یک زاویه): به قایق سمت راستی راه بدهید.
 - ۷- قایق موتوری در مقایسه با قایق موتوری (شاخ‌به‌شاخ): به سمت راست تغییر مسیر دهید از سمت چپ عبور کنید.
 - ۸- تغییر مسیر قایقی که در حال تغییر مسیر است راه می‌دهد.
- در بعضی از اماکن، مانند اسکله‌ها یا خطوط دریایی، ممکن است قوانین خاصی وجود داشته باشد. برای مثال در یک خط کشتیرانی که توسط کشتی‌های بزرگ استفاده می‌شود سراسر کشتی‌ها باید راه بدهند از آنجاکه این کشتی‌ها حدود یک ساعت طول می‌کشد که بتوانند متوقف شوند یا دور بزنند. قایق‌های کوچک که به خط دریایی نزدیک می‌شوند باید در سمت راست حرکت کنند و در داخل خط حرکت نکنند.
- نکته: یک قایق بادبانی وقتی بادبان‌ها بالا هستند تنها یک قایق بادبانی است، اگر موتور روشن باشد، آن یک قایق موتوری است.

توانایی بهره‌گیری از بادهای: باد جریان هوایی است که از مراکز فشار زیاد به طرف مراکز کم‌فشار به حرکت درمی‌آید. هر چه شیب فشار (تفاوت فشار) بین دونقطه بیشتر باشد شدت جریان هوا نیز بیشتر خواهد بود. تفاوت فشار دونقطه را گرادیان فشار می‌گویند. در ادامه به معرفی تعدادی از انواع این جریان‌ها اشاره می‌شود (اداره کل هواشناسی استان یزد، ۱۳۹۷):

- ۱- بادهای آلیزه (تجارتی): این بادهای نیمکره‌های شمالی و جنوبی به ترتیب از شمال شرقی به جنوب غربی و از جنوب شرقی به شمال غربی در حال وزش‌اند بادهای تجارتی در زبان‌های اسپانیولی-ایتالیایی و فرانسوی به ترتیب Alisei و Alisios و Alizes در زبان‌های آلمانی تحت عنوان Passat می‌نامند تمام این اسامی فاقد منشأ شناخته‌شده‌ای می‌باشند. این بادهای در بین منطقه پرفشار جنب حاره و همگرایی میان حاره‌ایی در بخش اعظمی از این مناطق در تمام طول سال می‌وزد. و باثبات‌ترین بادهای کره زمین می‌باشند. در نیمکره جنوبی به علت مداومت فشار زیاد جنب حاره، بادهای تجارتی به‌طور منظم وزیده و طوفه‌ایی را تشکیل می‌دهند. از این رو تجارتی‌های سطحی در نیمکره شمالی حالات منظم‌تر و قوی‌تری دارند و وسعت نفوذ کمربند تجارتی‌ها در نیمکره شمالی در حدود ۲۵۰۰ کیلومتر و در نیمکره جنوبی در حدود ۳۰۰۰ کیلومتر است. در سطح فوقانی کمربند حاره در حدود ۱۰ کیلومتری از سطح زمین، بادهایی با جهت مخالف تجارتی‌ها می‌خورند، که آن‌ها را آنتی‌تریید (ضد تجارتی) می‌گویند.
- ۲- بادهای موسمی: کلمه موسم دارای ریشه عربی است و به معنی فصل می‌باشد به بادهایی که در فصول متضاد سال با جهات مخالف می‌وزند موسمی‌ها گفته می‌شود. این بادهای در زمستان، به‌صورت جریان سردی از خشکی به دریا و در تابستان به‌صورت جریان هوای مرطوب و گرمی از دریا به خشکی می‌وزند. در تابستان‌ها، قاره آسیا گرم شده و به علت تشکیل کم‌فشارهای حرارتی گسترده در خلیج فارس و آسیای مرکز و دشت راجستان هند، از اقیانوس هند و آرام

بادهایی به جهت این مراکز کشیده می‌شوند این شرایط هم‌زمان با استرالیا و توأم با تشکیل یک آنتی‌سیلکون درروی آن می‌باشد. که بادهای خروجی از آن، ضمن عبور از استوا با جهت جنوب غربی به جهت آسیا کشیده می‌شوند و موسمی‌های تابستانی در آسیا را به وجود می‌آورند.

۳- بادهای غربی : در گستره جهانی اغلب در عرض‌های میانه و بین حدود ۳۵ تا ۶۵ درجه عرض جغرافیایی و یا به عبارت دیگر از پرفشار جنب حاره به مناطق کم‌فشار جنب قطب شیوع دارند.

این بادهای از نظر جهت و استمرار دارای خصوصیات متغیرند در سرعت و جهت حرکت آن‌ها جریان‌ات موجی به‌ویژه سیلیکون‌های سیار و آنتی سیلیکون‌هایی که در منطقه نفوذ این بادهای از غرب به شرق حرکت می‌کنند اثر عمده‌ای دارند از این‌رو ممکن است بادهای مذکور ضمن وزش از غرب به شرق خصوصیات طوفانی هم داشته باشند در زمستان‌های نیمکره شمالی توسعه آنتی‌سیلکون‌های قاره‌ای و بعضاً حتی سیکلون‌ها از توسعه بارز بادهای غربی ممانعت به عمل آورده و بدین جهت بادهای مزبور به نحو بارزی بر روی اقیانوس‌ها توسعه می‌یابند ولی چون در عرض‌های میانه نیمکره جنوبی، شرایط قاره‌ای تقریباً حاکمیتی ندارد. بادهای غربی هم تقریباً حالت کمربند جهانی به خود گرفته‌اند.

۴- بادهای محلی: این بادهای منطقه کوچکی را در برگرفته و معمولاً منحصر به لایه‌های بسیار پایین اتمسفر است.

نسیم دریا و خشکی: این بادهای حاصل تفاوت روزانه درجه حرارت بین دریاها و خشکی‌ها می‌باشد به هنگام روز، میزان فشار هوای دریاها در مقایسه با خشکی‌های هم‌جوار به علت پایین بودن نسبی درجه حرارت بیشتر است از این‌رو جریان هوایی از طرف دریا به طرف خشکی برقرار می‌گردد و شب‌هنگام خشکی‌ها سرد شده و به علت افزایش فشار هوای سطوح آن‌ها جریان بادی از خشکی به سوی دریا می‌وزد.

بادهای کوه و دره: این بادهای در اتمسفر آزاد، در نتیجه تفاوت گرمای حاصله بین دره‌ها و دشت‌ها که منجر به اختلاف فشار بین نواحی یادشده می‌گردد به وجود می‌آیند.

۵- فون : باد گرم و خشکی است که در سمت پشت به باد یک پشته کوهستانی بروز می‌کند و این نام منشأ خود را از آلپ گرفته است. زمانی که هوای نسبتاً مرطوبی بر پشته کوهی صعود می‌کند سرد شده، تراکم حاصل از این امر به صورت بارندگی در جهت رو به باد ظاهر می‌شود و چنانچه در ارتفاعات ذخیره‌ای از هوای سرد انباشته نباشد جریان هوا ضمن گذر از پشته کوهستانی به تدریج در شرایط بی‌دررو، در داخل پشت به باد گرم و خشک می‌گردد به‌طور کلی، در زمان جریان این باد، میزان نم نسبی به‌طور ناگهانی پایین می‌آید بارندگی قطع می‌گردد. در زمان حداکثر شدت باد، درجه حرارت به حداکثر خود می‌رسد و عموماً از میزان فشار هوا کاسته می‌شود. ذوب برف‌های زمستانی، خشکی و سوزاندن مزارع و ایجاد شرایط مساعد برای حریق جنگل‌ها از دیگر نشانه‌های بروز بادهایی با خصوصیات باد «فون» می‌باشد.

توانایی دریانوردی در شرایط سخت:

هر کشتی برای شرایط خاص آب و هوایی طراحی می‌شود بخصوص برای تحمل ارتفاع خاصی از امواج دریا. امواج دسته‌بندی شده و با شماره‌های خاصی بیان می‌شوند که این شماره‌ها را قدرت دریایی یا فورس دریایی گویند. مثلاً وقتی گفته می‌شود قدرت دریایی ۳ یعنی ارتفاع موج مشخصه ۱ متر و حداکثر ارتفاع موج ۵/۱ متر است. از آنجاکه عامل پدیدآورنده امواج دریا، وزش باد می‌باشند، شرایط دریایی را می‌توان از سرعت باد نیز تشخیص داد. شرایط باد با عدد بیوفورت تعریف می‌شود. مثلاً قدرت دریایی ۳ متناظر با عدد بیوفورت ۴ و معادل است با سرعت باد حداقل ۱۰ و حداکثر ۱۶ گره. کشتی‌های کوچک و کرانه پیما برای قدرت دریایی کمتر از ۴ و کشتی‌های اقیانوس پیما (وابسته به تناژ و ابعاد) برای قدرت دریایی بالاتر از ۴ طراحی می‌شوند. طراحی باید به گونه‌ای باشد که

کشتی در معرض آماج تعریف شده غرق نشده و کارایی آن مختل نگردد.

مهارت در گرفتن سکان و انجام مانور در شرایط لازم و اضطرار: آشنایی یکی از مهارت‌هایی که نیروی انسانی کسب می‌کند، هدایت شناور است به‌طوری‌که در هنگام هدایت شناور به‌طور دقیق به این نکته پی می‌بریم که با هل دادن و کشیدن سکان چه تغییری در جهت شناور اعمال می‌شود. اما در شناورهای موتوری سکان را به‌طور واضح و دقیق نمی‌توانیم مشاهده کنیم و همچنین به این نکته پی می‌بریم که این شناور چگونه حرکت می‌کند در صورتی‌که باد از طرفین به شناور ما برخورد می‌کند اما شناور به‌صورت مستقیم به حرکت خود ادامه می‌دهد. کشورهای سواحل خلیج فارس از شناور بادبانی استفاده نمی‌کنند اما نیروهای دریایی هند، پاکستان و نیروهای دریایی کشورهای ابرقدرت از این شناور استفاده می‌کنند به‌طوری‌که مأموریت‌های بلندمدت را با شناور بادبانی انجام می‌دهند. در کشورهای ابرقدرت دانشجویان دریایی فارغ‌التحصیل خود را برای مدتی جهت آموزش با این شناور به دریا می‌برند که در طول این مدت کاملاً متکی به خودشان هستند. در این مدت دانشجویان یاد می‌گیرند که چگونه مشکلات خود را در دریا رفع نمایند و همچنین نحوه‌ی هدایت شناور و موارد دیگری را که مربوط به هدایت یک شناور خوداتکا می‌باشد و دریانوردی بدون استفاده از تجهیزات کمک ناوبری و با استفاده از اجرام سماوی و به‌طور کاملاً سنتی می‌باشد، را فرامی‌گیرند که این امر باعث افزایش اعتماد به نفس و تجربه‌ی دریانورد می‌شود.

مهارت دریانوردی با استفاده از قطب‌نما: قطب‌نما یک وسیله کوچک است که از یک صفحه ۳۶۰ درجه‌ای و یک عقربه ساخته شده و به خاطر خاصیت مغناطیسی می‌توان به وسیله آن جهت‌یابی کرد. قطب‌نما یکی از مهم‌ترین ابزارهای است که هر یک از طبیعت گردان باید با خود همراه داشته باشند و طریقه استفاده از آن را نیز بدانند.

یک قطب‌نمای مغناطیسی برخلاف قطب‌نمای ژيروسکوپیک شامل آهن‌ربایی کوچک و سبک‌وزن است که روی سطح محوری بدون اصطکاک به‌صورت متوازن قرار گرفته است. این آهن‌ربا معمولاً سوزن نامیده شده و یک سر آن با حرف N به معنی شمال نشانه‌گذاری شده یا بارنگی متفاوت رنگ‌آمیزی شده است.



شکل ۷- قطب‌نمای دریایی

وقتی که درب قطب‌نما را باز کنید، مشاهده می‌کنید که عقربه آن شروع به چرخش می‌کند و در جهتی می‌ایستد. درواقع این عقربه قرمز شمال مغناطیسی کره زمین را نشان می‌دهد. این نکته را باید بدانید که شمال مغناطیسی کره زمین کمی با شمال حقیقی اختلاف زاویه دارد. البته برای این‌که دچار مشکل نشوید بهتر است از قطب‌نماهای ژيروسکوپیک که پیشرفته‌تر هستند و شمال را دقیقاً نشان می‌دهند، استفاده کنید..

با توجه به نوع طراحی شناورهای بادبانی که یا از نوع ما ران‌ها- (کاتاماران، تری ماران، پنتاماران) بوده و یا دارای کیل مونهال هستند، این شناورها دارای تعادل بسیار خوبی هستند به‌طوری‌که شناورهای کاتاماران ۴ نفره HOBIE CAT 15 CLUB تا فورس ۴ و شناورهای بزرگ‌تر همانند SUN ODYSSEY 30i تا فورس ۷ قادر به دریانوردی و حفظ تعادل و عدم واژگونی هستند. بنابراین دقیقاً زمانی که به علت شرایط نامساعد جوی شناورهای سبک باید به اسکله-های خود برگردند، در همین زمان شرایط برای دریانوردی با شناورهای بادبانی در حال مهیا شدن

است. از طرفی دریانورد با شناور بادبانی می-آموزد که چگونه با جابجایی خدمه و نفرات و کوتاه نمودن سطح مقطع بادبان در شرایط نامساعد و مسیرهای مختلف دریانوردی تعادل شناور خویش را برقرار و از واژگونی آن جلوگیری نماید. ماندن در شرایط سخت جوی در دریا و مقاومت در برابر دریازدگی و عادت کردن به این شرایط از دیگر مزایای کار با شناورهای بادبانی است (بورکی، ۱۳۹۱).

سه عامل اصلی در بادبانی موج، باد و قایق است و هوشیاری و درک درست از این سه عامل در موقعیت‌های متفاوت، شرط مهم موفقیت است.

مهارت بکارگیری کنترل صدمات و اطفای حریق:

دکل افقی خطرناک‌ترین قسمت در یک قایق بادبانی است. نباید در مسیر دکل افقی در حال حرکت قرار گرفته و همیشه از تغییر مسیر و چرخش‌های بادبان‌ها به‌سوی باد آگاه باشید.

حرکت دادن یک قایق در ذات خود می‌تواند خطرناک باشد. چیزهای زیادی وجود دارند که به یک قایق برخورد کنند یا یک قایق ممکن است به‌طور غیرقابل انتظاری وارونه شود. در این قسمت به هفت قانون برای ایمنی که چون لغات انگلیسی مربوط به این قوانین با F شروع می‌شود به آن قانون F's ۷ می‌گویند (اشاره می‌کنیم. سوار شدن به یک قایق باید به دنبال قوانین زیر باشیم:

الف: آتش:

- ۱- چه تجهیزات آتش‌نشانی در عرشه وجود دارد؟
- ۲- کپسول‌های آتش‌نشانی کجاست؟
- ۳- چگونه اجاق‌گاز را خاموش می‌کنید؟
- ۴- هرگز در داخل اتاقک سیگار نکشید این یک دستورالعمل برای جلوگیری از فاجعه است.

ب: غرق شدن

- ۱- چه اتفاقی می‌افتد اگر قایق پر از آب باشد؟
- ۲- چگونه آب را به بیرون پمپاژ می‌کنید؟
- ۳- اگر پمپاژ ممکن نباشد از چه وسیله‌ای استفاده می‌شود؟
- ۴- وظیفه انجام تخلیه آب بر عهده چه کسی است؟

پ: ابزار شناوری

- ۱- در صورت عدم موفقیت در نجات شناور چه باید کرد؟
 - ۲- جلیقه‌های نجات، حلقه‌های نجات و سایر ابزار شناوری کجا هستند؟
 - ۳- آیا شما یک قایق نجات دارید؟
- ت: کمک‌های اولیه

- ۱- در زمان بروز حادثه برای فرد یا افراد چه واکنشی باید نشان داد؟
- ۲- داروی ضد سرگیجه و ضد درد را کجا نگهداری می‌شود؟
- ۳- قرص‌های ضد دریازدگی در کجا قرار دارند؟

ث: چراغ‌قوه

- ۱- هدایت کردن قایق در شب نیاز به یک چراغ‌قوه دارد. همچنین می‌توان برای علامت دادن به شناورهای دیگر یا کمک گرفتن از آن چگونه باید از چراغ استفاده نمود؟

ج: مشعل‌ها

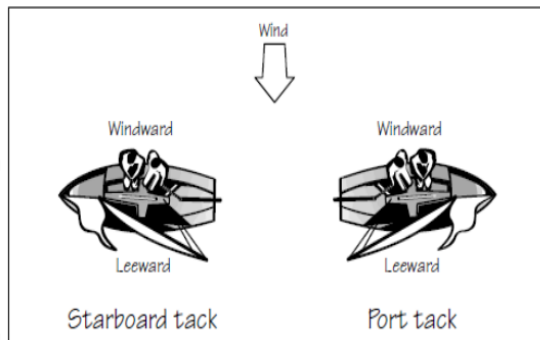
- در صورت درخواست کمک چه تعداد علامت (دودزا، هشداردهنده) نیاز دارید؟
- علامت دهنده در دو رنگ‌اند- قرمز و سفید. علامت دهنده قرمز به‌عنوان علامت دهنده "اعلام کمک" شناخته‌شده‌اند زیرا آن‌ها وقتی که شما می‌خواهید نجات داده شوید استفاده می‌شوند. علامت دهنده سفید به‌عنوان "هشدار" شناخته‌شده‌اند زیرا آن‌ها برای هشدار دیگر کشتی‌ها از حضور شما استفاده می‌شوند.

این علامت‌ها فقط در زمانی قابل استفاده هستند که شما کسی را ببینید که احتمال شما را نجات دهد.

چ: رادیو/تلفن:

- ۱- محل استقرار تلفن در کدام قسمت از شناور است؟
 - ۲- معرف مورد استفاده چه می‌باشد؟
 - ۳- نام ایستگاه مورد نظر چیست؟
- امدادی کمک کنند.

اصول دریانوردی با شناورهای بادبانی : شما نیاز به آشنایی با برخی از اصطلاحات قایقرانی قبل از وارد



شکل ۹- نحوه نشستن

بادگیر و بادپناه: سمت چپ قایق شما همیشه سمت پورت است، اما اینکه کدام سمت بادپناه است و کدام سمت بادگیر، به زاویه باد نسبت به قایق شما بستگی دارد. باد اول به طرف بادگیر قایق شما برخورد می کند، پس سمت بادپناه طرف دیگر قایق است. باد، بادبان های شما را به سمت بادپناه هل می دهد. اگر بادبان های شما در مرکز هستند و لرزش دارند، شما در زنجیر هستید.

به جز زمانی که شما در حالت پشت به باد هستید، همیشه بادبان شما در سمت بادپناه تنظیم شده است. اگر در مورد اینکه کدام طرف بادگیر است و کدام طرف بادپناه است دچار اشتباه می شوید، به سادگی اجازه دهید بادبان کوچک و یا بادبان اصلی در باد مانند پرچم تکان بخورد، هر طرف که بادبان متمایل شد، سمت بادپناه است.

با توجه به این کاربردها، شناورهای سطحی بدون سرنشین به عنوان ابزاری مؤثر و کارآمد در عملیات های فراساحلی، صنعت نفت و گاز شناخته می شوند و به بهبود کارایی، کاهش هزینه ها و افزایش ایمنی در این بخش کمک می کنند.

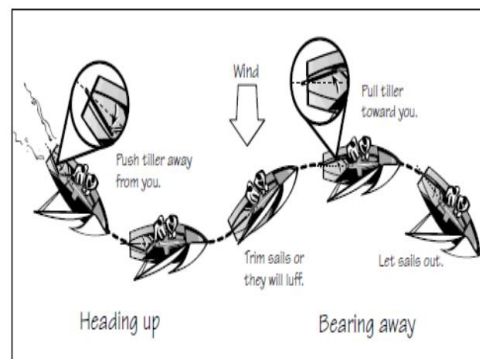
انجام مانورهای مختلف: تصور کنید که در حال قایقرانی در منطقه قابل دریانوردی با شناور بادبانی هستید، اما یک خط ساحلی طولانی در مقابل شما پدیدار می شود. شما می توانید این سد را با انتخاب یکی از این دو مانور اساسی در قایقرانی از پیش رو بردارید:

تغییر مسیر رو به باد: تغییر جهت یا چرخاندن قایق از یک طرف منطقه غیرقابل دریانوردی به طرف دیگر منطقه غیرقابل دریانوردی.

شدن به مانور دارید. بخش زیر به تفصیل، نزدیک شدن به مسیر باد و دور شدن از مسیر باد، حرکت به سمت چپ و راست، باد و بادپناه می پردازد.

مانور تغییر جهت: دو عبارت مسیر باد و دور شدن از مسیر باد، تغییر مسیر یک قایق بادبانی را توصیف می کند. تعریف این دو اصطلاح نسبت به جهت باد می باشد. هنگامی که سر قایق به جهت باد می چرخد، مسیر باد؛ و هنگامی که سر قایق به سمت مخالف جهت باد می چرخد، دور شدن از مسیر باد است.

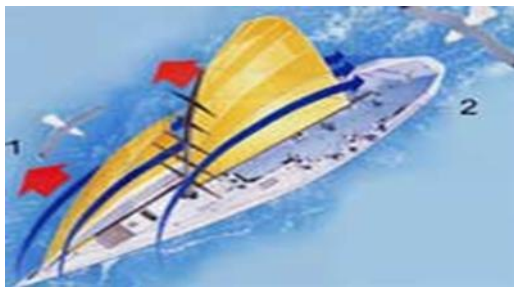
اصطلاح خلاف سمت باد عمومی تر از اصطلاح خلاف مسیر باد است، اما همه آن ها دور شدن از مسیر باد می باشد. برای انجام این کار با فرض اینکه در موقعیت درست نشسته اید، میله سکان را به سمت خود بکشید. اگر شما بخواهید در یک دایره کامل دور بزنید، طبق تعریف نیمی از زمان مسیر باد و نیمی از زمان در حالت سمت باد هستید.



شکل ۸- مانور تغییر جهت

حرکت به سمت چپ و راست: تقریباً مانند هر چیز دیگری در قایقرانی، باد عامل تعیین کننده است. هنگامی که شما در حال قایقرانی با باد از سمت چپ قایق خود قرار دارید، شما در حال چرخش از سمت چپ هستید. هنگامی که باد از سمت راست قایق در حال وزیدن است، شما در حال چرخش به سمت راست هستید. این که آیا شما در مناطق قابل دریانوردی در شناور بادبانی هستید، مهم نیست، بلکه عامل تعیین کننده این است کدام سمت قایق اول توسط باد ضربه می خورد.

در تصویر فوق نقطه ۱ بادبان اصلی را نشان می‌دهد. نقطه ۲ نیز جهت عبور باد از میان دو بادبان را نشان می‌دهد. حال می‌خواهیم دلیل ایجاد مکش در طرفین بادبان را بیش‌تر توضیح دهیم. به شکل صفحه بعد دقت کنید.



شکل ۱۲- عبور باد از بادبان اصلی

همان‌گونه که می‌دانیم باد از حرکت نمودن هوا ایجاد می‌شود و هوا هم بر طبق قانون برنولی هر چه سریع‌تر حرکت نماید، فشارش کم‌تر می‌شود. هنگامی که هوا از اطراف بادبان ایرفویل شکل حرکت می‌کند، سرعت حرکت آن بر روی طرفی که محدب است بیش‌تر بوده و لذا فشارش نسبت به طرف دیگر پایین‌تر خواهد بود و به عبارتی در سرعت‌های زیادتر نوعی مکش ایجاد می‌کند و این نیروی مکش باعث به حرکت درآمدن قایق در جهت دلخواه می‌شود.

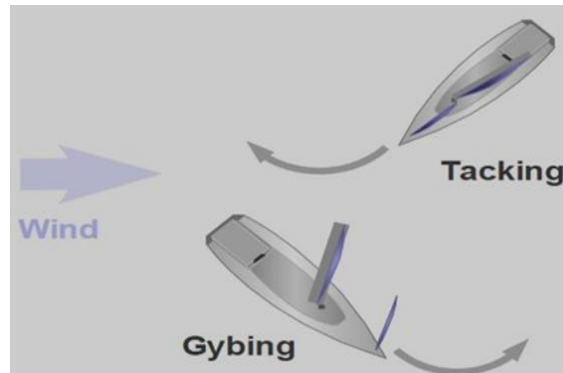
لازم به ذکر است که نیروی واردشده به بادبان دارای دو مؤلفه به سمت جلو و جانبی باشد که مؤلفه به سمت جلو قایق را به حرکت درمی‌آورد و مؤلفه جانبی نیز به دلیل وجود باله زیر قایق و درون آب، خنثی می‌شود و کشتی را حرکت نخواهد داد.

چگونه یک قایق بادبانی می‌تواند خلاف جهت باد حرکت کند؟

باد یکی از انرژی‌های سبز است، انرژی تجدیدناپذیر و بدون آلودگی (پاک). این انرژی، از گذشته‌های دور، موردتوجه انسان واقع شد و تا امروزه کاربرد بسیاری دارد. استفاده از باد برای حمل‌ونقل، سابقه زیادی دارد. در این بین کشتی‌ها و قایق‌های بادبانی، نقش مهمی را ایفا می‌کنند. در پهنه‌ی دریاها و اقیانوس‌ها، باد بدون وجود مانعی می‌وزد کشتی بادبانی نیروی باد را به وسیله بادبان‌های پهنش گرفته، این نیرو به دکل منتقل می‌شود و کل کشتی را حرکت می‌دهد.

مسیرهای قابل دریانوردی

تغییر مسیر پشت به باد : یا تغییر جهت با چرخاندن قایق در جهت دور شدن از باد تا اینکه باد از یک سمت به سمت مخالف منتقل شود. این بخش همچنین به کنکاش رایج‌ترین اشتباه هنگام تغییر مسیر پشت به باد قایق می‌پردازد: گیرکردن در قرار گرفتن در نقطه مقابل باد



شکل ۱۰- مانورهای مختلف شناور بادبانی

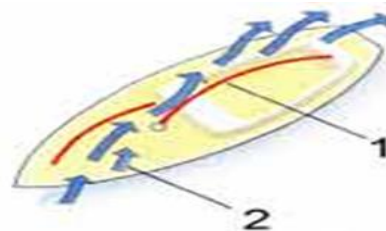
نحوه استفاده قایق‌ها از نیروی باد: آیا تابه‌حال به

این موضوع فکر کرده‌اید که قایق‌ها چگونه از نیروی

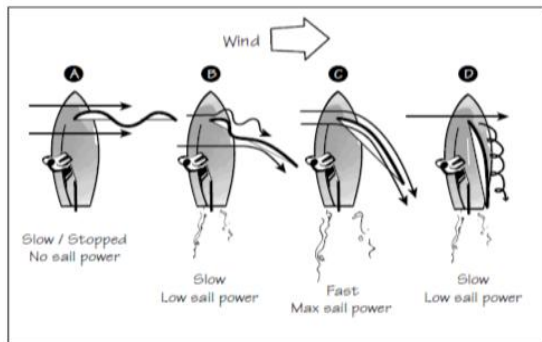
باد استفاده می‌کنند؟

اصولاً به زوایای مختلفی که جهت حرکت یک قایق بادبانی می‌تواند با جهت باد به سازد، جهات قایقرانی گفته می‌شود. هنگامی که باد از کناره‌ها به قایق برخورد کند، اصطلاحاً حرکت ریچینگ پدید می‌آید. با برخورد باد به پشت بادبان، حرکت رانینگ نام خواهد داشت. یک قایق بادبانی هرگز نمی‌تواند دقیقاً در خلاف جهت باد حرکت نماید اصطلاحاً زاویه‌ای که قایق بادبانی نمی‌تواند در آن حرکت کند، ناحیه نقطه مقابل باد نامیده می‌شود.

از دیگر عواملی که می‌تواند به حرکت قایق‌های بادبانی کمک نماید، استفاده از اثر شیار می‌باشد. در صورتی که دو بادبان به نحوی تنظیم شوند که در محل هم‌پوشانی آن‌ها شیار ایجاد شود، با عبور هوا از داخل این شیار، سرعت هوا بالا می‌رود و با بالا رفتن سرعت هوا هم مکش ایجادشده بر روی بادبان زیاد می‌شود و در نتیجه قایق می‌تواند با سرعت بیش‌تری حرکت نماید.



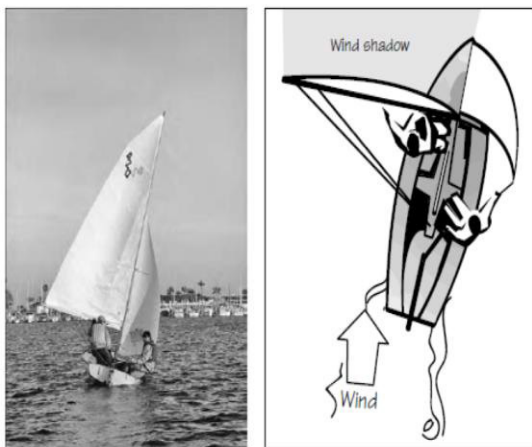
شکل ۱۱- نحوه استفاده از قایق از نیروی باد



شکل ۱۴- رها کردن

حرکت پشت به باد: قایقرانی با باد پشت سر (رفتن در همان جهتی که باد می‌وزد) نامیده می‌شود. قایقرانی در مسیر باد بسیار جذاب است - قایق کج نمی‌شود، و چون حرکت روبه‌جلو وزش باد را در سراسر عرشه کاهش می‌دهد و پاشش آب روی عرشه وجود ندارد، شما گرم‌تر می‌مانید. به‌طور طبیعی، شما دوست دارید در تمام زمان‌ها در جهت باد حرکت کنید. اما باید هزینه قایقرانی در خلاف جهت باد را بپردازید مگر اینکه شما قصد یک سفر یک‌طرفه را داشته باشید.

در حالت پشت به باد، شما باید بادبان را در زاویه ۹۰ درجه نسبت به باد نگهدارید تا باد به‌طور مستقیم از پشت قایق بوزد. بادبان مانند یک درب انبار بزرگ عمل می‌کند، بنابراین شما نمی‌توانید تنظیم مناسب را با شل کردن طناب پیدا کنید. باد به‌سادگی قایق را هل می‌دهد.



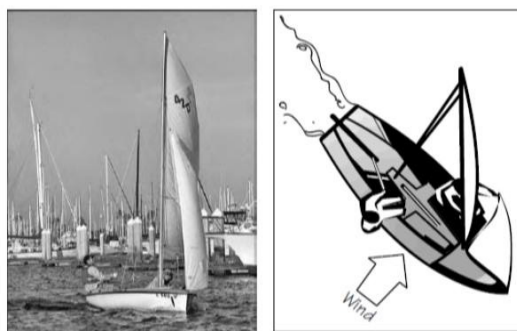
شکل ۱۵- پشت به باد

اجتناب از حرکت با بادپناه: اگر شما در حال حرکت در مجاورت مسیر باد مُرده هستید (۶:۰۰)، باید مراقب باشید که کمی بیشتر دور نزنید و درنهایت به قایقرانی با بادپناه نرسید. زمانی که در مرحله پشت به باد هستید و انتقال

مسیرهای قابل دریانوردی یک عبارت کلی برای تمام نقاط بادبانی بین منطقه Close hauled و منطقه پشت به باد است. از آنجاکه دهانه چنین منطقه‌ای وسیع است، ساده‌ترین مکان برای شروع قایقرانی و سریع‌ترین نقطه از منطقه بادبانی است.

برای اولین بار که به منطقه مسیرهای قابل دریانوردی وارد می‌شوید، طوری قایق را هدایت کنید که باد از یک مسیر حدود ۹۰ درجه از عرض قایق شما عبور کند و تنظیم بادبان را تا جایی ادامه دهید که لرزش بادبان متوقف شود. منطقه مسیرهای قابل دریانوردی ساده‌ترین منطقه برای یک قایقران است، پس برای اولین بار این منطقه را تجربه کنید و سکان قایق را کمی به سمت راست و سمت چپ بچرخانید تا بدانید که پاسخ سکان چگونه است.

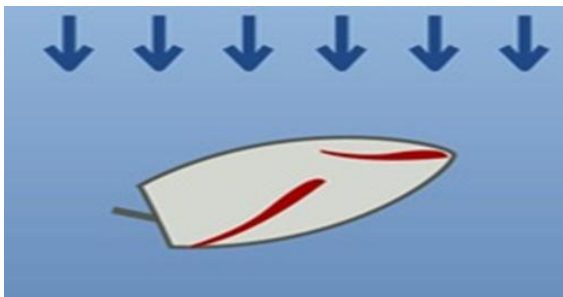
اگر شما در حال رسیدن به زاویه ۹۰ درجه نسبت به جهت وزش باد هستید، شما در beam reach هستید، همان‌طور که در شکل زیر نشان می‌دهد. منطقه بین زاویه ۹۰ درجه و منطقه نزدیک سمت باد منطقه ReachClose نامیده می‌شود.



شکل ۱۳- مسیرهای قابل دریانوردی

یک قانون مهم برای تنظیم بادبان وقتی که شک وجود دارد رها کردن است. تنظیم بادبان‌های خود را چک کنید با شل کردن آهسته‌آهسته طناب، اگر بادبان شروع به لرزیدن نمود تنظیمات قبلی درست بوده پس آن را به حالت قبل بازگردانید و اگر تغییری نکرد بیش‌از حد آن را محکم کرده بودید. به‌طور مکرر با شل و سفت کردن طناب تنظیم بادبان‌ها را چک کنید.

بعد از اینکه سرعت کم شد اهرم سکان را فشار دهید و بادبان کوچک را به سمت مقابل باد بچرخانید. تا زمانی که دوباره بخواهید حرکت کنید آن‌ها را در این وضعیت نگاه دارید. (شکل ۱۷)



شکل ۱۷ - متوقف کردن قایق

جلوگیری از وارونه شدن قایق: قایق بادبانی کاتاماران احتمال وارونه شدن آن در باد زیاد وجود دارد. برای جلوگیری از وارونه شدن قایق راه‌های ذیل را انجام دهید:

* کوتاه کردن بادبان اصلی

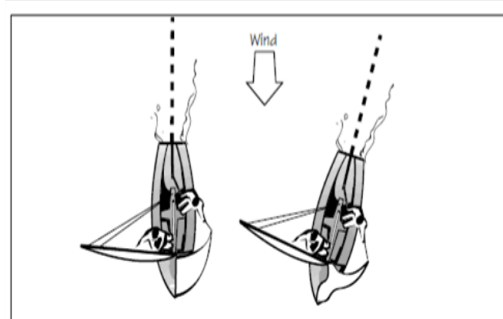
* نزدیک کردن قایق به سمت باد با هل دادن اهرم سکان

* شل کردن طناب mainsheet

تشخیص باد ظاهری: قبل از تلاش و قایقرانی سریع‌تر، شما به بررسی بیشتر و دقیق‌تر بادی که به قایق بادبانی در حالی که حرکت شما برخورد می‌کند نیاز دارید. زمانی که قایق شما در حال حرکت است، بادی که شما بر روی عرشه احساس می‌کنید، باد ظاهری است، که با باد حقیقی یا باد حس شده توسط یک قایق لنگر انداخته یا پرچم که در ساحل است، فرق دارد. برای نشان دادن تفاوت بین باد ظاهری و حقیقی، تصور کنید که با یک دوچرخه به سمت پایین جاده حرکت می‌کنید. اگر وزش بادی وجود نداشته باشد، شما در چهره خود باد را حس می‌کنید (باد ظاهری) — هرچه سریع‌تر پدال بزنید، باد شدیدتر می‌شود، و اگر باد بوزد، بادی که در صورت خود احساس می‌کنید — باد ظاهری است، باد ناشی از حرکت که به خاطر حرکت سریع ایجاد می‌شود و باد واقعی، که وزش باد در جاده است. در ترکیب با باد واقعی روی آب، بادی ایجاد می‌شود که شما آن را حس می‌کنید و این همان باد ظاهری است، همان‌طور که در شکل ۱۸ نشان می‌دهد.

باد شما را وادار به حرکت با یاد پناه کند تغییرات در جهت باد را شدیدتر احساس می‌کنید.

شما معمولاً می‌توانید توسط باد پناه ۵ یا ۱۰ درجه (نسبت به جهت باد مرده) بدون حرکت شدید بوم در عرض قایق، قایقرانی کنید. اما این به تنظیم بادبان اصلی شما بستگی دارد، در یک Heading اشتباه هرچه قدر بادبان اصلی از مسیر باد مرده دورتر و دورتر می‌رود در نقاطی که باد به بادبان اصلی می‌رسد، بوم بسیار سریع در عرض قایق خواهد چرخید. قایق‌سواری با باد پناه می‌تواند بسیار خطرناک باشد، به خصوص در باد قوی، زیرا به محض اینکه باد در پشت بادبان اصلی فشار وارد کند، می‌تواند با نیروی بسیار و به‌طور ناگهانی بوم را در عرض قایق حرکت داده و به‌طور تصادفی با شما برخورد کند.

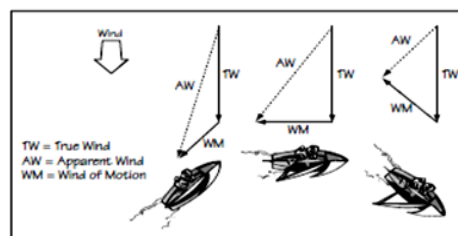


شکل ۱۶ - حرکت با باد پناه

متوقف کردن قایق (ایستادن قایق): ابتدا باید مقداری وارد منطقه غیرقابل قایقرانی شویم و قایق را در زاویه بین ۳۰ تا ۴۵ درجه نسبت به باد قرار دهیم، بادبان اصلی را به‌طور کامل شل کنیم و بادبان کوچک و سکان در یک جهت و مخالف بادبان اصلی تنظیم شود. قایق بادبانی نمی‌تواند به سمت مقابل باد دور بزند یا بایستد. (نکته: اگر بیش از حد وارد منطقه غیرقابل قایقرانی شویم احتمال دور شدن از مسیر وجود دارد)

با استفاده از سکان، در حالتی که قایق با بادی که از جلو به سینه شناور می‌وزد متوقف مانده و با حداقل سرعت به جلو می‌رود. این مستلزم آزاد کردن آرام آرام بادبان‌ها نسبت به حالت Close hauled می‌باشد. مراحل زیر را دنبال کنید:

- قایق خود را بین وضعیت Close و Close hauled قرار دهید، سپس برای کاهش سرعت طناب بادبان اصلی را شل کنید



شکل ۱۸- تشخیص باد ظاهری

۵. روش شناسی و نتیجه‌گیری

این تحقیق از نظر هدف یک تحقیق کاربردی و از لحاظ روش توصیفی تحلیلی است. تحقیقات کاربردی تحقیقاتی هستند که نظریه‌ها، قانونمندی‌ها، اصول و فنونی که در تحقیقات پایه تدوین می‌شوند را برای حل مسائل اجرایی و واقعی به کار می‌گیرد. اجرای تحقیقات کاربردی برای بسیاری از سازمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا با استفاده از آن می‌توان به بررسی مشکلات موجود در سازمان‌ها پرداخت و راه‌حل‌های علمی برای اصلاح موقعیت مشکل‌آفرین را مشخص کرد. اصل استفاده از قایق‌های بادبانی در امر آموزش دریانوردی با آنچه در کشور ما به آن پرداخته شده متفاوت است. در نیروی دریایی کشورهای پیشرفته در امر دریا جهت تمرین هدایت شناور بدون سامانه‌های کمک ناوبری از شناورهای بادبانی بزرگ‌تر استفاده می‌شود تا افسران ناوبر و ملوانان در این امر مهارت لازم را کسب نمایند. این حقیقت که استفاده آموزشی از این نوع شناورها تأثیرات مثبتی بر دریانوردان دارد قابل کتمان نیست می‌توان از آن جمله به لمس بیشتر شرایط بد دریا، آشنایی بیشتر با بادهای و جریانات دریایی، ورزیدگی و چالاکی روی شناور، بالا بردن قدرت تصمیم‌گیری لحظه‌ای و غیره اشاره نمود.

در این تحقیق تلاش گردید تا بر اساس عنوان تحقیق یعنی تأثیر آموزش شناورهای بادبانی در ارتقای مهارت دریانوردان، ابتدا مهارت‌های دریانوردی متناسب با این نوع شناور شناسایی شده و سپس بر اساس ارزیابی خبرگان عضو جامعه آماری، اولویت‌بندی مدنظر در خصوص ارتقای این مهارت‌ها محاسبه شود. با توجه به یافته‌های به دست آمده، و بدون در نظر گرفتن گروه‌بندی مهارت‌ها به سه دسته (مهارت‌های به کارگیری سیستم‌های مختلف ناوبری، توانایی در اجرای مانورهای مختلف، مهارت در اجرای

کنترل صدمات)، مهارت دریانوردی در شرایط مختلف دارای بیشترین امتیاز گردید. بنابراین می‌توان دریافت که آموزش‌های شناورهای بادبانی، این مهارت را بیشتر از سایر مهارت‌ها تقویت می‌کند. بیشترین و کمترین رتبه مهارت به تفکیک سه دسته مهارتی به شرح ذیل است:

- مهارت‌های به کارگیری سیستم‌های مختلف ناوبری: آشنایی کامل با هواشناسی و بادهای موسمی و محلی دارای بیشترین رتبه و رادار دارای کمترین رتبه است.
- مهارت در اجرای مانورهای مختلف: دریانوردی در شرایط مختلف دارای بیشترین رتبه و لنگر انداختن دارای کمترین رتبه است.
- مهارت در اجرای کنترل صدمات: مهارت در گرفتن سکان و انجام مانور در شرایط لازم و اضطرار دارای بیشترین رتبه و اطفای حریق دارای کمترین رتبه است.

جدول شماره ۲: اولویت‌بندی مهارت‌های به کارگیری سیستم‌های مختلف ناوبری بر اساس میانگین حد انتظار

اولویت	میانگین	مهارت	
۱	۴/۷۷۸	بادسنج و بادنما	مهارت‌های به کارگیری
۱	۴/۳۶۴	عمق سنج	
۱	۴/۱۳۶	قطب‌نما	
۲	۴/۰۵۳	اتو پایلوت	سیستم‌های مختلف
۲	۴/۰۴۲	سیستم مخابراتی	
۲	۳/۷۷۳	GPS	
۲	۳/۲۶۷	رادار	ناوبری
۲۸/۴۱۳		جمع میانگین	
۴/۰۵۹		میانگین حد انتظار اولویت اول در مهارت به کارگیری سیستم‌های ناوبری	

بر اساس یافته‌های جدول (۲) باید ابتدا به طراحی و چیدمان طرح درس و سناریوهای مرتبط به سطح مهارت‌های دارای اولویت یک پرداخته شود و در ادامه به طراحی و چیدمان مباحث مربوط به اولویت دوم در این بخش پرداخت. ضمن تجزیه و تحلیل نتایج حاصله، می‌توان پیشنهادها و راهکارهای کاربردی زیر را ارائه نمود:

نتایج تأثیر آموزش شناورهای بادبانی در مهارت به کارگیری سیستم‌های تجهیزات کمک ناوبری آن چه میزان است؟
 *اولویت‌بندی مشخص شده در جدول به هدایت اساتید و مربیان بر اساس زمان و نیازهای مهارتی کمک می‌کند. در شرایطی که زمان کافی برای برگزاری دوره محدود می‌باشد،

۲	۴/۱۵۶	آشنایی کامل به قانون بین‌المللی راه
۲	۳/۴۸۵	لنگر انداختن
۴۰/۳۸۸		جمع میانگین
۴/۴۸۷		میانگین حد انتظار اولویت اول در مهارت اجرای مانورهای مختلف

بر اساس یافته‌های جدول (۳) باید ابتدا به طراحی و چیدمان طرح درس و سناریوهای مرتبط به سطح مهارت‌های دارای اولویت یک پرداخته شود و در ادامه به طراحی و چیدمان مباحث مربوط به اولویت دوم در این بخش پرداخت.

تأثیر آموزش شناورهای بادبانی در مهارت انجام کنترل صدمات آن چه میزان است؟

بر اساس جدول (۴) ترتیب مهارت بر اساس شاخص‌های مهارتی به کارگیری کنترل صدمات، نتیجه ۹ مورد از ۲۵ مورد پرسش شده در پرسش‌نامه و کسب میانگین عدد ۴/۷۳۶ نشان می‌دهد ۳ مورد از ۹ مورد از مهارت‌ها در بین پرسش‌شوندگان نمره بالاتری را نسبت به سایر مهارت‌ها مخصوص به این حوزه کسب نموده‌اند و مابقی آن‌ها پایین‌تر از نمره میانگین می‌باشند. این جدول نشان می‌دهد طراحی اجرای آموزش جهت افزایش اجرای مهارت‌های به کارگیری کنترل صدمات در دریانوردان بادبانی باید از ترتیب و اولویت جدول (۴) بهره گیرد.

جدول شماره ۴: اولویت‌بندی مهارت‌های به کارگیری کنترل صدمات بر اساس میانگین حد انتظار

اولویت	میانگین	مهارت	مهارت‌های به کارگیری کنترل صدمات
۱	۴/۸۲۴	توانایی در گرفتن سکان و انجام مانور در شرایط لازم و اضطرار	
۱	۴/۶۴۷	پارگی بادبان	
۱	۴/۵۸۳	شکستن دکل	
۲	۴/۴۷۲	شناخت کامل بدنه عمومی شناور	
۲	۴/۱۴۳	آشنایی کامل با سیستم برق قایق بادبانی	

به مربیان کمک می‌کند که شرایط و عناوین طرح درس خود را بر اساس اولویت حاضر انتخاب نمایند.

* با بهره‌گیری از این نتایج یکی از مهم‌ترین عوامل و راه‌کارهای تأثیر شناورهای بادبانی در به کارگیری سیستم‌های مختلف ناوبری وحدت رویه و استاندارد بودن نوع ارائه آموزش توسط اساتید است، به وجود می‌آید.

* اثر تکرار و بروز بودن هدفمند و اجرایی کردن مهارت‌های به کارگیری سیستم‌های مختلف ناوبری در شناورهای بادبانی می‌تواند کمک بسزایی در ارتقاء مهارت‌های تخصصی دانشجویان بر روی شناور می‌گردد.

۲- تأثیر آموزش شناورهای بادبانی در مهارت به کارگیری در اجرای مانورهای مختلف آن چه میزان است؟

بر اساس جدول (۲-۵) ترتیب مهارت بر اساس شاخص‌های مهارتی سیستم‌ها و تجهیزات کمک ناوبری، نتیجه ۹ مورد از ۲۵ مورد پرسش شده در پرسش‌نامه و کسب میانگین عدد ۴/۴۸۷ نشان می‌دهد ۳ مورد از ۹ مورد از مهارت‌ها در بین پرسش‌شوندگان نمره بالاتری را نسبت به سایر مهارت‌ها مخصوص به این حوزه کسب نموده‌اند و مابقی آن‌ها پایین‌تر از نمره میانگین می‌باشند. این جدول نشان می‌دهد طراحی اجرای آموزش جهت افزایش اجرای مانورهای مختلف در دانشجویان بادبانی باید از ترتیب و اولویت جدول (۳) بهره گیرد.

جدول شماره ۳: اولویت‌بندی مهارت‌های اجرای مانورهای مختلف بر اساس میانگین حد انتظار

اولویت	میانگین	مهارت	مهارت در اجرای مانورهای مختلف
۱	۴/۸۳۳	دریانوردی در شرایط مختلف	
۱	۴/۸۳۳	آشنایی کامل با هواشناسی و بادهای موسمی و محلی	
۱	۴/۵	عملیات جدا شدن	
۲	۴/۴۱۷	عملیات پهلوگیری	
۲	۴/۴۱۷	توانایی دریانوردی برد بلند با قایق بادبانی	
۲	۴/۳۹۴	مهارت در اجرای مانور پهلوگیری در مهار طناب و یادگرفتن دفرا و ضربه‌گیر	
۲	۴/۳۵۳	مهارت در به کارگیری کلبه تجهیزات ملوانی و طناب‌های مهار دفرا	

۲	۴	آشنایی با موتور شناور بادبانی
۲	۳/۸۱۸	توانایی در اجرای نت
۲	۳/۹۰۹	آب‌گرفتگی
۲	۳/۴۰۹	اطفای حریق
۴۲/۶۲۹		جمع میانگین
۴/۷۳۶		میانگین حد انتظار اولویت اول در مهارت کنترل صدمات

بر اساس یافته‌های جدول (۴) باید ابتدا به طراحی و چیدمان طرح درس و سناریوهای مرتبط به سطح مهارت‌های دارای اولویت یک پرداخته شود و در ادامه به طراحی و چیدمان مباحث مربوط به اولویت دوم در این بخش پرداخت. ضمن تجزیه و تحلیل نتایج حاصله، می‌توان پیشنهادها و راهکارهای کاربردی زیر را ارائه نمود:

نتایج تأثیر آموزش شناورهای بادبانی در مهارت انجام کنترل صدمات آن چه میزان است؟

* اولویت‌بندی مشخص شده در جدول به هدایت اساتید و مربیان بر اساس زمان و نیازهای مهارتی کمک می‌کند. در شرایطی که زمان کافی برای برگزاری دوره محدود می‌باشد، به مربیان کمک می‌کند که شرایط و عناوین طرح درس خود را بر اساس اولویت حاضر انتخاب نمایند.

* با بهره‌گیری از این نتایج، یکی از مهم‌ترین عوامل و راه کارهای تأثیر مهارت‌های به کارگیری کنترل صدمات این بخش که وحدت رویه و استاندارد بودن نوع ارائه آموزش توسط اساتید است، به وجود می‌آید.

* کمک در نیازسنجی ابزار و محتوایی به جهت ارتقاء سطح مهارت‌های تخصصی

* اثر تکرار و بروز بودن هدفمند و اجرایی کردن مهارت‌های به کارگیری کنترل صدمات می‌تواند کمک بسزایی در ارتقاء سطح مهارت‌های دریانوردان نماید.

پیشنهادهای به نیروی دریایی :

۱- نسبت به ارتقا مربیان در حوزه شناورهای بادبانی برابر استانداردهای مورد تأیید فدراسیون ورزش‌های آبی اقدام شود.

۲- نسبت به اصلاح برنامه‌ریزی آموزشی اقدام گردد.

۳- نسبت به برگزاری مسابقات سالانه مهارتی شناورهای بادبانی در دو بعد برد کوتاه و برد بلند اقدام گردد.

۴- خرید شناورهای بادبانی در مدل‌های مختلف با توجه به نیاز آموزشی .

۵- توسعه زیرساخت‌های لازم در خصوص حفظ و نگهداری شناورهای بادبانی با توجه به اهمیت موضوع آموزش این دسته از شناورها.

منابع و مراجع

[1]- Seymour, B. (2023). Maritime Navigation and Technology. Maritime Education. Retrieved from Maritime Education

[2]- Knotts, J. (2021). Nautical Skills and the Future of Maritime Navigation. Marine Insight.

[3]- Ahrens, C. D. (2018). Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment. Cengage Learning..

[4]-Chen Yingbin (2019) Overview of USV development status and key technologies. Scientific and Technological Innovation (2):2. <https://doi.org/CNKI:SUN:HLKX.0.2019-02-036>.

[5]- States Navy (2007) The Navy Unmanned Surface Vehicle (USV) Master Plan

[6]-Dai Guangshu (2019) Data fusion application technology in marine unmanned driver technology. Ship Science and Technology 41(14): 55-57. <https://doi.org/10.3404/j.issn.1672-7649.2019.7A.019>

[7]- Peng Z, Wang J, Wang D, Han QL (2021) An Overview of Recent Advances in Coordinated Control of Multiple Autonomous Surface Vehicles. IEEE Transactions on Industrial Informatics 17(02): 732-745. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3004343>

[8]- Dai Guangshu (2019) Data fusion application technology in marine unmanned driver technology. Ship Science and Technology 41(14): 55-57. <https://doi.org/10.3404/j.issn.1672-7649.2019.7A.019>

[9]-Zhou Xiangyu, Wu Zhaolin, Wang Fengwu, Liu Zhengjiang (2019) Definition of autonomous ship and its autonomous level. Journal of Traffic and Transportation Engineering 19(06): 149-162. <https://doi.org/CNKI:SUN:JYGC.0.2019-06-016>.

[10]- Chen Yingbin (2019) Overview of USV development status and key technologies. Scientific and Technological Innovation (2):2. <https://doi.org/CNKI:SUN:HLKX.0.2019-02-036>.

Journal of Ship Research 16(1): 18–31.
<https://doi.org/10.19693/j.issn.16733185.01939>

[21]-Lin H, Sun S (2016) Optimal estimator for a class of non-uniform sampling systems with missing measurements. 2016 35th Chinese Control Conference (CCC).
<https://doi.org/10.1109/ChiCC.2016.7553675>

[22]-Lin Xu (2020) Dynamic Path Planning for Collision Avoidance of USV based on D* Algorithm. International Core Journal of Engineering, 6(5):73–83.
[https://doi.org/10.6919/ICJE.202005_6\(5\).0013](https://doi.org/10.6919/ICJE.202005_6(5).0013)

[23]-Liu Chunyang (2021) Research on ship navigation automation and navigation intelligence. Marine Equipment Materials & Marketing 29(5): 65–66.
<https://doi.org/10.19727/j.cnki.cbwzysc.2021.05.025>

[24]-Liu Jian (2014) Research on path planning technology of unmanned surface vehicles. Jiangsu University of Science and Technology.

[25]-Liu Zuopung (2021) The application of intelligent technology and unmanned driving technology in ship design. Ship Science and Technology 43(4): 7–9

[26]-Lu J, Yan L, Xia Y, Qiao G, Fu M, Lu K (2017) Asynchronous multirate multisensor data fusion over unreliable measurements with correlated noise. IEEE Transactions on Aerospace & Electronic Systems 53(99): 2427–2437.
<https://doi.org/10.1109/taes.2017.2697598>

[27]-Lv Guanghao, Peng Zhouhua, Wang Haoliang, Liu Lu, Wang Dan, Li Tieshan (2021) Extended-state-observer-based distributed model predictive formation control of under-actuated unmanned surface vehicles with collision avoidance. Ocean Engineering 238.
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109587>

[28]-Mccue L (2016) Handbook of marine craft hydrodynamics and motion control. IEEE Control Systems 36(1):78–79.
<https://doi.org/10.1109/MCS.2015.2495095>

[29]-McLaughlin R (2004) Unmanned naval vehicles at sea: USVs, UAVs, and the adequacy of the law. Journal of Law Information & Science 21(2).
<https://doi.org/10.5778/JLIS.2011.21.McLaughlin.1>

[11]- Sun Xiaojie, Wang Guofeng, Fan Yunsheng (2021) Collision avoidance guidance and control scheme for vector propulsion unmanned surface vehicle with disturbance. Applied Ocean Research 115. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2021.102799>

[12]- Vasudevan Shriram K, Baskaran Balraj (2021) An improved realtime water quality monitoring embedded system with IoT on unmanned surface vehicle. Ecological Informatics 65.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101421>.

[13]-Gong Ruiliang, Ji Yuguan (2016) Intelligent ship technology and unmanned navigation technology[J]. Ship & Boat 27(05): 82–87.
<https://doi.org/10.19423/j.cnki.31-1561/u.2016.05.082>

[14]- Ye Qiang (2017) Research on intelligent ship technology and unmanned technology. Shandong Industrial Technology (15): 106.
<https://doi.org/10.16640/j.cnki.37-1222/t2017.15.098>

[15]- Yang Yi (2020) Information fusion of an unmanned surface vehicle integrated navigation system. Dalian Maritime University
<https://doi.org/10.26989/dxnki.gdlhu.2020.00038>

[16]- Yang Baicheng, Zhao Zhilei (2018) Multi-ship encounter collision avoidance decisions based on improved simulated annealing algorithm. Journal of Dalian Maritime University 44(02): 22–26.
<https://doi.org/10.16411/j.cnki.issn1006-7736.2018.02.004>

[17]- Yan N, Huang S, Kong C (2021) Reinforcement Learning-Based Autonomous Navigation and Obstacle Avoidance for USVs under Partially Observable Conditions. Hindawi.
<https://doi.org/10.1155/2021/5519033>

[18]-Li Jiqiang, Zhang Guoqing, Li Bo (2022) Robust Adaptive Neural Cooperative Control for the USV-UAV Based on the LVS-LVA Guidance Principle. Journal of Marine Science and Engineering. <https://doi.org/10.3390/jmse10010051>

[19]- Xu Xiaofeng, Xiao Yingjie, Zhang Xuelai (2021) A Review on Optimization of Unmanned Ship Path Based on Collision Avoidance Rules. Journal of Transport Information and Safety 39(02): 1–8.
<https://doi.org/10.3963/j.jssn.1674-4861.2021.02.001>

[20]- Wang Yuanyuan, Liu Jialun, Ma Feng, Wang Xingping, Yan Xinpeng (2021b) Review and prospect of remote control intelligent ships. Chinese

- [40]-Vasudevan Shriram K, Baskaran Balraj (2021) An improved realtime water quality monitoring embedded system with IoT on unmanned surface vehicle. *Ecological Informatics* 65. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101421>.
- [41]-Wang Chengbo, Zhang Xinyu, Li Junjie (2018a) Development ideas of unmanned ship navigation technology based on e-navigation. *Journal of Jimei University (Natural Science)* 23(5): 354–359. <https://doi.org/10.19715/j.jmuzr.2018.05.006>
- [42]-Wang Chengbo, Zhang Xinyu, Zou Zhiqiang, Wang Shaobo (2018b) On path planning of unmanned ship based on Q-learning. *Ship & Ocean Engineering* 47(5): 168–171. <https://doi.org/10.3963/j.issn.1671-7953.2018.05.038>
- [43]-Wang Yunhui, Chen Yuao, Liang Mincang (2021a) Research on the impact of the development of USV on Seafarers' career and its countermeasures. *Shipping Management* 43(8): 41–44. <https://doi.org/10.3340/j.jsm.2021.08.015>
- [44]-Wang Yuanyuan, Liu Jialun, Ma Feng, Wang Xingping, Yan Xinping (2021b) Review and prospect of remote control intelligent ships. *Chinese Journal of Ship Research* 16(1): 18–31. <https://doi.org/10.19693/j.issn.16733185.01939>
- [45]-Wei Xinyong, Huang Yesheng, Hong Xiaobin (2018) Local obstacle avoidance method for unmanned surface vehicle based on VFH* algorithm. *China Measurement & Test* 44(12): 39–45. <https://doi.org/10.11857/j.issn.1674-5124.2018.12.007>
- [46]-Wrobel K, Montewka J, Kujala P (2018) System-theoretic approach to safety of remotely-controlled merchant vessel. *Ocean Engineering* 152:334–345. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.01.020>
- [47]-Wu Zhaolin (2017) Ship automatic navigation and navigation intelligence. *China Maritime Safety* (08):16–19. <https://doi.org/10.16831/j.cnki.issn1673-2278.2017.08.007>
- [48]-Xie Boyu, Li Maoqing, Yue Lili (2020) Research on Route Real-Time Planning of UAV-Intelligent Platoons Cooperative Systems. *Computer Engineering and Applications* 56(20):8. <https://doi.org/10.3778/j.issn.1002-8331.2002-0038>
- [30]-Nan Gu, Dan Wang, Zhouhua Peng, Jun Wang, Qing-Long Han (2022) Disturbance observers and extended state observers for marine vehicles: A survey. *Control Engineering Practice* 123:0967–0661. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2022.3162862>
- [31]-Ning Xinlong (2021) Brief analysis on the application prospect of unmanned survey ship in underwater topographic survey. *Water Conservancy Construction and Management* 41(3): 4. <https://doi.org/10.16616/j.cnki.11-4446/TV.2021.03.12>
- [32]-Peng Z, Wang J, Wang D, Han QL (2021) An Overview of Recent Advances in Coordinated Control of Multiple Autonomous Surface Vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 17(02): 732–745. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3004343>
- [33]-Pu Jinjing, Liu Han, Jiang Yunhua, Huang Jian, Kuang Guangshen, Bruce Lee (2020) Summary of the Status and Development Trends of Unmanned Surface Vehicle. *Marine Information* 35(1): 6–11. <https://doi.org/CNKI:SUN:HTXX.0.2020-01-002>.
- [34]- Sun Xiaojie (2016) Research on Real-time Path Planning System for Unmanned Surface Vessel. Dalian Maritime University
- [35]-Sun Xiaojie, Wang Guofeng, Fan Yunsheng (2021) Collision avoidance guidance and control scheme for vector propulsion unmanned surface vehicle with disturbance. *Applied Ocean Research* 115. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2021.102799>
- [36]-Sun Xu, Cai Yuliang (2020) Ship technology: from automation to autonomy. *China Ship Survey* (5): 46–48. <https://doi.org/CNKI:SUN:ZGJ.0.2020-05-016>.
- [37]-Su Shibin, Liu Yingce, Lin Hongshan, Wu Ronghui, Zhou Xiaoying (2018) Development and Key Technologies of Unmanned Transport Ship. *Ship & Ocean Engineering* 47(05): 56–59. <https://doi.org/10.3963/j.issn.1671-7953.2018.05.013>
- [38]-Tuan L, Hongping Z, Zhouzheng G, Qijin C, Xiaoji N (2018) High-Accuracy Positioning in Urban Environments Using Single-Frequency Multi-GNSS RTK/MEMS-IMU Integration. *Remote Sensing* 10(2): 205. <https://doi.org/10.3390/rs10020205>
- [39]-United States Navy (2007) The Navy Unmanned Surface Vehicle (USV) Master Plan

assisted vehicle via the multiport event-triggered approach. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 2168–2267. <https://doi.org/10.1109/TCYB.2021.3091580>

[59]-Zhang Weipeng, Zhang Zhimin (2020) Research on the legal applicability of the requirement of maritime safety governance and navigation guarantee service on unmanned ships and associated countermeasures. *China Maritime Safety* (9): 31–34. <https://doi.org/10.16831/j.cnki.issn1673-2278.2020.09.012>

[60]- Lin Xu (2020) Dynamic Path Planning for Collision Avoidance of USV based on D* Algorithm. *International Core Journal of Engineering*, 6(5):73–83. [https://doi.org/10.6919/ICJE.202005_6\(5\).0013](https://doi.org/10.6919/ICJE.202005_6(5).0013)

[49]-Xu Chunsong, Zhang Renping (2017) Thoughts on the development of unmanned ships and the revision of maritime conventions. *World shipping* 40(03):20–22. <https://doi.org/10.16176/j.cnki.21-1284.2017.03.004>

[50]-Xu Daguang (2020) Research on Object Detection Technology of USV based on Information Fusion Technology. *Jimei University*, (5): 4–51. <https://doi.org/10.27720/dxnki.gjmdx.2020.000252>

[51]-Xue Min, Xu Haicheng, Wang Shuo (2018) Path planning of unmanned craft based on particle swarm optimization algorithm. *China Science and Technology Information* (24): 69–70. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-8972.2018.24.025>

[52]-Xu Xiaofeng, Xiao Yingjie, Zhang Xuelai (2021) A Review on Optimization of Unmanned Ship Path Based on Collision Avoidance Rules. *Journal of Transport Information and Safety* 39(02): 1–8. <https://doi.org/10.3963/j.jssn.1674-4861.2021.02.001>

[53]-Yan N, Huang S, Kong C (2021) Reinforcement Learning-Based Autonomous Navigation and Obstacle Avoidance for USVs under Partially Observable Conditions. *Hindawi*. <https://doi.org/10.1155/2021/5519033>

[54]-Yang Baicheng, Zhao Zhilei (2018) Multi-ship encounter collision avoidance decisions based on improved simulated annealing algorithm. *Journal of Dalian Maritime University* 44(02): 22–26. <https://doi.org/10.16411/j.cnki.issn1006-7736.2018.02.004>

[55]-Yang Bo (2015) Intelligent ship operation and maintenance technology. *Maritime China* (12): 68–69. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-6664.2015.12.022>

[56]-Yang Yi (2020) Information fusion of an unmanned surface vehicle integrated navigation system. *Dalian Maritime University* <https://doi.org/10.26989/dxnki.gdlhu.2020.00038>

[57]-Yin Qun, Liu Tian, Mao Wenqiang (2020) Some thoughts on Key Technologies of intelligent ship. *Marine Equipment/Materials & Marketing* (10):5–6. <https://doi.org/10.19727/j.cnki.cbwzysc.2020.10.003>

[58]-Zhang Guoqing, Li Jiqiang, Jin Xu, Liu Cheng (2021) Robust adaptive neural control for wing-sail-

مروری بر آخرین دستاوردهای علمی در حوزه شناورهای سطحی

بدون سرنشین

فرهاد کیانی فلاورجانی

دانشجوی دکترا هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی مکانیک، اصفهان (شاهین شهر)

چکیده:

شناورهای سطحی بدون سرنشین به عنوان بخشی از فناوری‌های نوظهور در صنعت دریایی به سرعت در حال توسعه و پیشرفت هستند. شناورهای سطحی بدون سرنشین به عنوان ابزارهای با ارزشی برای جمع‌آوری اطلاعات مطرح هستند. آن‌ها روشی مقرون به صرفه و کارآمد برای جمع‌آوری داده‌های حیاتی را ارائه می‌دهند و به فرآیندهای تصمیم‌گیری کمک می‌کنند. علاوه بر این، شناورهای بدون سرنشین سطحی در نظارت بر آب‌های سرزمینی، محافظت از سیستم‌های دریایی و پشتیبانی از فعالیت‌های فراساحلی مؤثرند. این قابلیت‌ها منجر به بهبود امنیت، افزایش کارایی عملیاتی و کاهش خطرات برای کارکنان درگیر در این عملیات شده است. این شناورها به دلیل توانایی‌های خاصی که دارند، مانند عملیات ترکیبی و خودکار، کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش ایمنی در شرایط خطرناک به ویژه در حوزه‌های نظامی، تجاری، و پژوهشی کاربردهای فراوانی پیدا کرده‌اند. پیشرفت‌های فناوری در شناورهای سطحی بدون سرنشین نقش مهمی در تحول آن‌ها داشته‌اند. خودمختاری بهبود یافته، ادغام حسگرها و سیستم‌های ارتباطی، امکان عملیات مستقل یا همکاری با سایر شناورهای بدون سرنشین را فراهم کرده و توانایی‌ها و تنوع آن‌ها را گسترش داده است. علاوه بر این، بهبودهای صورت گرفته در سیستم‌های ناوبری، الگوریتم‌های اجتناب از برخورد و مدیریت انرژی به طور قابل توجهی قابلیت اطمینان و مدت زمان اجرای عملیات در شناورهای سطحی بدون سرنشین را افزایش داده است و به آن‌ها این امکان را داده که مأموریت‌های طولانی را با حداقل مداخله انسانی انجام دهند. در نتیجه پیشرفت‌های صورت گرفته در شناورهای سطحی بدون سرنشین، روش‌های انجام عملیات و رزم دریایی متحول شده است. در این مقاله آخرین دستاوردهای علمی در حوزه شناورهای سطحی بدون سرنشین مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی:

شناورهای سطحی بدون سرنشین، هوش مصنوعی، اجتناب از برخورد، خودمختاری، سیستم‌های ارتباطی و شبکه بندی

A Review of Current Research and Advances in Unmanned Surface Vehicles

Farhad Kiani

Malek Ashtar University of Technology; aerospace1362@gmail.com

Abstract

Unmanned Surface Vehicles (USVs) are rapidly developing and advancing as part of emerging technologies in the maritime industry. USVs are recognized as valuable tools for data collection, offering a cost-effective and efficient means of gathering vital information to support decision-making processes. Additionally, USVs are effective in monitoring territorial waters, protecting marine systems, and supporting offshore activities. These capabilities enhance security, increase operational efficiency, and reduce risks for personnel involved in these operations. Due to their unique abilities, such as combined and automated operations, reduced operational costs, and increased safety in hazardous conditions, USVs have found numerous applications, especially in military, commercial, and research sectors. Technological advancements in unmanned surface vehicles have played a crucial role in their transformation. Improved autonomy, integration of sensors, and communication systems enable independent operations or collaboration with other manned vessels, expanding their capabilities and versatility. Moreover, advancements in navigation systems, collision avoidance algorithms, and energy management have significantly increased the reliability and operational duration of USVs, allowing them to undertake long missions with minimal human intervention. As a result, the advancements in unmanned surface vehicles have transformed the methods of conducting maritime operations and warfare. This paper reviews the latest scientific achievements in the field of unmanned surface vehicles.

Keywords

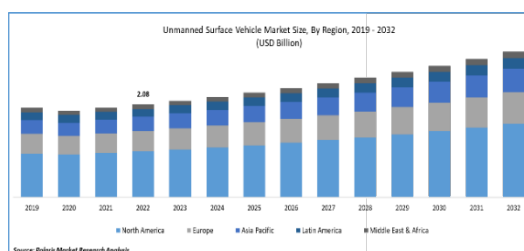
Unmanned Surface Vehicles, Artificial Intelligence, Collision Avoidance, Autonomy, Communication Systems, and Networking

عملیاتی این سیستم‌ها را به طور چشمگیری افزایش داده است. این پیشرفت‌ها نه تنها به کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش انعطاف‌پذیری کمک می‌کنند، بلکه امکان انجام مأموریت‌های پیچیده‌تر و طولانی‌مدت‌تر را نیز فراهم می‌سازند [2]. بهبود در حوزه‌های هوش مصنوعی، ارتباطات، مواد، پیشرانها و انرژی‌های پایدار به طور مستقیم به افزایش کارایی و تنوع کاربردهای این شناورها منجر شده است [5].

شناورهای سطحی بدون سرنشین در اجرای مأموریت‌های از پیش تعریف شده، گرفتن تصاویر نوری و صوتی با کیفیت بالا و جمع‌آوری داده‌های حیاتی محیطی از جمله پارامترهایی مانند دما، شوری، عمق و جریان‌ها بسیار موفق هستند [1-3]. پیشرفت‌های بیشتر فناوری و هوش مصنوعی به شناورهای سطحی بدون سرنشین امکان می‌دهد تا در عملیات خودکار مشارکتی با شناورهای مشابه شرکت کرده و قابلیت‌های شبکه را تقویت کنند [6-8]. تاکید اصلی بر بهبودهای فناوری برای افزایش عملکرد در عین کاهش مصرف انرژی و هزینه‌ها است [9]. یک حوزه تمرکز مهم، بهبود قابلیت‌های محاسباتی و ارتباطی برای ساده‌سازی پردازش داده‌ها است [10]. شناورهای سطحی بدون سرنشین دارای سطوح مختلفی از خودمختاری هستند. آن‌ها می‌توانند به صورت دستی توسط یک اپراتور انسانی کنترل شوند یا دارای قابلیت اجتناب خودکار از موانع باشند [11-12]. علاوه بر این، برخی از شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند به صورت خودکار از نقطه شروع به نقطه پایان حرکت کنند. با پیشرفت‌های تکنولوژیکی، برخی از بازیگران کلیدی بازار شناورهای سطحی بدون سرنشین، هر سه سطح خود مختاری را در وسایل نقلیه سطحی بدون سرنشین خود ارائه می‌دهند. در طول عملیات خودکار، اکثر وسایل نقلیه سطحی بدون سرنشین می‌توانند مسیر خود را از یک مکان از راه دور به روز رسانی و تغییر دهند. بسته به محیطی که در آن کار می‌کنند، شناورهای سطحی بدون سرنشین به انواع مختلف ارتباط نیاز دارند [13-14]. اگر شناورهای سطحی بدون سرنشین در

۱. مقدمه

شناورهای سطحی بدون سرنشین^۱ در سال‌های اخیر پیشرفت‌های چشمگیری داشته‌اند و انقلابی در زمینه‌های مختلف که نیاز به عملیات دریایی دارند، به وجود آورده‌اند [1]. شناورهای سطحی بدون سرنشین شناورهایی هستند که روی سطح آب کار می‌کنند و بدون حضور خدمه انسانی به کار گرفته می‌شوند. این وسایل به سنسورهای متنوع و تجهیزات کنترل از راه دور مجهز هستند که توسط اپراتورهایی در خشکی یا سایر شناورها کنترل می‌شوند [2]. حجم و سهم بازار جهانی وسایل نقلیه سطحی بدون سرنشین در سال ۲۰۲۳ به ۲.۱۶ میلیارد دلار آمریکا رسید و انتظار می‌رود با نرخ رشد سالانه مرکب ۴.۸ درصد در دوره پیش‌بینی شده رشد کند.



شکل ۱- شماتیکی از روند رشد اقتصاد و بازار در حوزه شناورهای بدون سرنشین سطحی

شناورهای سطحی بدون سرنشین در زمینه‌های تجاری، تحقیقاتی و نظامی کاربردهای فراوانی دارند، علاوه بر این، آن‌ها نقش مهمی در عملیات نظامی ایفاء می‌کنند و به عنوان خط دفاعی اول عمل کرده و در نتیجه خطرات برای پرسنل نظامی را کاهش می‌دهند. پیشرفت‌های فناوری در شناورهای سطحی بدون سرنشین نقش مهمی در تحول آن‌ها داشته‌اند. با توجه به کاربردهای گسترده، پیشرفت‌های فناوری و مزایای مرتبط، شناورهای سطحی بدون سرنشین به دارایی‌های ضروری در رزم دریایی تبدیل شده‌اند. توسعه فناوری‌های نوین در حوزه شناورهای سطحی بدون سرنشین، کارایی، ایمنی، و قابلیت‌های

¹ Unmanned Surface Vehicle

یک رودخانه یا دریاچه کار کند، ممکن است از فرکانس رادیویی یا شبکه سلولی استفاده شود. اگر شناورهای سطحی بدون سرنشین در فاصله دور در دریا یا اقیانوس باشد، به ارتباطات ماهواره‌ای نیاز خواهد بود [15]. با توجه به طراحی جمع و جور و ماهیت مقرون به صرفه آن‌ها، وسایل نقلیه سطحی بدون سرنشین برای طیف گسترده‌ای از کاربردها مناسب هستند. آن‌ها در درجه اول در امنیت دریایی و داخلی، جنگ ضد زیردریایی و اطلاعات، نظارت و شناسایی استفاده می‌شوند. علاوه بر این، این وسایل در هیدروگرافی و اقیانوس‌شناسی و همچنین در نقشه برداری و اکتشاف منابع طبیعی کاربرد دارند.

۲. معرفی اجزای اصلی در شناورهای سطحی بدون سرنشین

شکل ۲ یک شناور بدون سرنشین پیشرفته را نشان می‌دهد که برای انجام انواع ماموریت‌های دریایی مانند نظارت، نقشه‌برداری، جمع‌آوری داده و بازرسی زیرساخت‌ها طراحی شده است. در ادامه، هر یک از اجزاء و نقش‌های آن‌ها در این سیستم به طور دقیق‌تری توضیح داده شده است.



شکل ۲- شماتیکی از اجزای اصلی در شناور سطحی بدون سرنشین نمونه [3]

دوربین عمق سنج: این دوربین از فناوری‌های تصویربرداری پیشرفته مانند حسگرهای نوری یا مادون قرمز برای اندازه‌گیری عمق آب و تصویربرداری زیر سطحی استفاده می‌کند. این داده‌ها می‌توانند برای ایجاد نقشه‌های سه‌بعدی زیر آب یا برای بررسی محیط زیر آب در تحقیقات علمی و زیست‌محیطی استفاده شوند.

گیمبال دوربین: گیمبال یک سیستم تثبیت‌کننده برای دوربین است که از موتورها و ژيروسکوپ‌ها استفاده می‌کند تا لرزش‌ها و تکان‌های ناشی از حرکت شناور را جبران کند.

این امر باعث بهبود کیفیت تصاویر و ویدیوهای گرفته‌شده می‌شود، به خصوص در شرایط دریایی ناپایدار می‌شود.

لیدار: از امواج لیزر برای اندازه‌گیری دقیق فاصله‌ها و ایجاد نقشه‌های سه‌بعدی استفاده می‌کند. این فناوری برای تشخیص موانع، شناسایی اهداف، و ایجاد مدل‌های دقیق از سطح آب و بستر دریا به کار می‌رود.

دوربین جلو: دوربین جلو برای نظارت بر مسیر و محیط اطراف شناور استفاده می‌شود. این دوربین می‌تواند تصاویر زنده را به اپراتور ارسال کند و به هدایت و جلوگیری از برخورد کمک کند.

چراغ جلو: چراغ جلو برای تأمین نور در شرایط کم‌نور، مانند عملیات در شب یا در زیرآب‌های تاریک، استفاده می‌شود. این چراغ‌ها معمولاً از نوع LED هستند که مصرف انرژی کمی دارند و نور زیادی تولید می‌کنند.

واحد پردازنده هوش مصنوعی و کامپیوتر: این واحد یک پردازنده هوش مصنوعی و کامپیوتر کوچک است که برای پردازش داده‌های سنسور و انجام محاسبات پیچیده به کار می‌رود. این پردازنده می‌تواند الگوریتم‌های یادگیری ماشین را برای تشخیص موانع، شناسایی اشیاء، و تصمیم‌گیری‌های خودمختار اجرا کند.

منبع تغذیه: این واحد برق لازم برای تمامی سیستم‌های الکترونیکی و موتورها را تأمین می‌کند. باتری‌های با ظرفیت بالا، مانند باتری‌های لیتیوم-یونی، معمولاً به عنوان منبع تغذیه استفاده می‌شوند تا شناورهای سطحی بدون سرنشین بتوانند مدت زمان طولانی‌تری عملیات کنند.

سیستم موقعیت‌یابی جهانی: برای تعیین موقعیت دقیق مکانی شناور سطحی بدون سرنشین در دریا استفاده می‌شود. این اطلاعات می‌تواند به سیستم کنترل پرواز کمک کند تا مسیر بهینه را برای رسیدن به مقصد یا انجام ماموریت تعیین کند.

واحد انتقال تصویر: این سیستم شامل فرستنده‌های بی‌سیم برای ارسال تصاویر و ویدیوهای گرفته‌شده توسط دوربین‌های به مرکز کنترل یا اپراتور است. انتقال تصویر به صورت لحظه‌ای به اپراتور اجازه می‌دهد تا در زمان واقعی بر عملیات نظارت کند و تصمیم‌گیری‌های لازم را انجام دهد.

³ Light Detection and Ranging

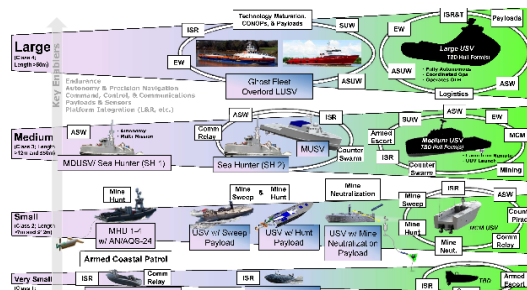
⁴ Image Transmission

¹ Depth Camera

² Camera Gimbal

معیار	توضیحات
طبقه‌بندی شناورهای سطحی بدون براساس اندازه	بسیار بزرگ برای مأموریت‌های طولانی و پیچیده مانند عملیات نظامی و علمی.
	بزرگ برای عملیات‌های میان‌مدت مانند نظارت و نقشه‌برداری.
	متوسط برای مأموریت‌های کوتاه‌مدت و اعطاف‌پذیر مانند بازرسی‌های ساحلی.
	کوچک برای عملیات‌های سریع و کوچک مانند جستجو و نجات.
طبقه‌بندی بر اساس شیوهی عملکرد	عملیات از راه دور کنترل شده توسط اپراتور انسانی.
	خودکار بدون نیاز به کنترل انسانی، یا استفاده از الگوریتم‌ها و هوش مصنوعی.
	پدنه اصلی
	سیستم‌های قدرت و پیش‌رانه برای حرکت و عملکرد.
طبقه‌بندی بر اساس اجزا و سیستم‌های اصلی	سیستم‌های ارتباطی برای ارسال و دریافت داده و دستورات.
	سنسورها و تجهیزات نوری برای جمع‌آوری داده‌های محیطی.
	سیستم ناوبری و موقعیت‌یابی داخلی برای هدایت دقیق.
	سیستم‌های اطلاعاتی و تصویربرداری برای شناسایی و نظارت.
طبقه‌بندی بر اساس نوع پدنه شناور	تجهیزات تسلیحاتی برای مأموریت‌های نظامی.
	پدنه یادی نفت و محکم سمیک و مناسب برای عملیات سریع.
	پدنه کاپاک سمیک و مناسب برای عملیات‌های کوچک.
	پدنه دوقلو پایداری یا لا در دریاهای موج.
طبقه‌بندی بر اساس مدت زمان عملیات	پدنه سه‌گانه پایداری و سرعت بالا در شرایط مختلف.
	کوتاه برای مأموریت‌های کوتاه‌مدت.
	متوسط برای مأموریت‌های میان‌مدت.
	طولانی برای مأموریت‌های طولانی‌مدت.
بسیار طولانی برای مأموریت‌های بسیار طولانی و پیچیده.	

این جدول مجموعه‌ای از دسته‌بندی‌های جامع برای تحلیل و مقایسه انواع مختلف شناورهای سطحی بدون سرنشین و کاربردهای آن‌ها در مناطق و سناریوهای مختلف عملیاتی را ارائه می‌دهد.



شکل ۳- دسته بندی شناورهای بدون سرنشین بر اساس طول

این شکل به‌طور جامع انواع شناور سطحی بدون سرنشین را بر اساس اندازه، کاربرد، و مأموریت‌های نظامی طبقه‌بندی می‌کند. هدف این سامانه‌ها افزایش کارایی عملیاتی، کاهش وابستگی به نیروی انسانی و بهبود ایمنی در عملیات دریایی است. در ادامه توضیحات عمیق‌تری در مورد هر طبقه و مأموریت‌ها، همچنین نقش‌های فناوری‌های کلیدی ارائه می‌شود:

Large USVs (Class 4) : وسایل بدون سرنشین

بزرگ

واحد کنترل‌کننده حرکت و مانور: مسئول کنترل حرکات و مانورهای شناور است. این واحد از سنسورهای مختلفی مانند شتاب‌سنج‌ها، ژيروسکوپ‌ها و مغناطیس‌سنج‌ها برای اندازه‌گیری وضعیت و حرکات شناور استفاده می‌کند و سپس دستورات لازم را برای موتورها و دیگر اجزا صادر می‌کند.

واحد انتقال داده^۱: این سیستم برای ارسال داده‌های جمع‌آوری‌شده از سنسورها به مرکز کنترل یا سرورهای ابری استفاده می‌شود. این داده‌ها می‌توانند شامل اطلاعات موقعیت، عمق آب، دمای آب، و اطلاعات دیگر باشند که برای تحلیل‌های بعدی استفاده می‌شوند.

واحد ارتباطی ساحلی و ماهواره‌ای و گیرنده کنترل از راه دور^۲: این واحد سیگنال‌های کنترل از راه دور ارسال‌شده توسط اپراتور را دریافت می‌کند. این سیگنال‌ها می‌توانند شامل دستورات برای تغییر مسیر، سرعت یا انجام مأموریت‌های خاص باشند.

موتور: موتورها نیروی محرکه لازم برای حرکت شناور را تأمین می‌کنند. موتورها معمولاً الکتریکی هستند و با انرژی تأمین‌شده از باتری کار می‌کنند. بسته به طراحی، شناور ممکن است از چندین موتور برای حرکت در جهات مختلف و کنترل بهتر استفاده کند.

این ترکیب از تجهیزات و سنسورها، شناورهای سطحی بدون سرنشین را قادر می‌سازد که به‌طور خودکار یا با کنترل از راه دور در محیط‌های دریایی مختلف به انجام مأموریت‌های پیچیده بپردازد. این وسیله می‌تواند در عملیات‌های نظامی، نظارتی، تحقیقاتی، و تجاری مانند بررسی زیرساخت‌های زیرآبی، نقشه‌برداری از بستر دریا، پایش محیط زیست و عملیات‌های جستجو و نجات استفاده شود.

۳. دسته‌بندی و طبقه‌بندی شناورهای سطحی بدون سرنشین

این شکل جدولی را نشان می‌دهد که دسته‌بندی‌های مختلف شناورهای بدون سرنشین سطحی را بر اساس چندین معیار مختلف فهرست کرده است [2-4] :

جدول ۱- دسته بندی کلی در شناورهای سطحی بدون سرنشین

² Remote Control Receiver

¹ Data Transmission

- عملیات چندمنظوره، از جمله ارتباطات رله و پشتیبانی جنگ‌های دریایی.
- استفاده در عملیات ضدازدحام برای خنثی‌سازی حملات گروهی.
- نمونه Sea Hunter یک شناور بدون سرنشین خودمختار برای عملیات‌های ضدزیردریایی.
- مأموریت‌ها این کلاس از شناورهای شامل موارد زیر است
- ASW: جنگ ضدزیردریایی، برای یافتن و خنثی کردن تهدیدات زیرسطحی.
- Comm Relay: تقویت ارتباطات بین نیروها با ایجاد یک رله ارتباطی.
- Counter Swarm: مقابله با تهدیدات گروهی از قایق‌ها یا پهپادهای دشمن.
- MCM: مقابله با مین پاک‌سازی و خنثی‌سازی مین‌های دریایی.



شکل ۵- شناور سطحی بدون سرنشین کلاس متوسط

Small USVs (Class 2) وسایل نقلیه کوچک

- این دسته برای پاک‌سازی مین‌ها، ضد دزدی دریایی و عملیات دفاع ساحلی استفاده می‌شود.
- طول ۷ تا ۱۲ متر
- ویژگی‌ها این کلاس از شناورهای شامل موارد زیر است
- پرتاب ساده و انعطاف‌پذیری بالا.
- حمل Payloads (بارهای تخصصی) برای انواع مأموریت‌ها.
- نمونه‌ها:
- شناورهای بدون سرنشین سطحی با تجهیزات جستجوی مین: مجهز به حسگر AN/AQS-24 برای شناسایی مین‌های دریایی.
- مأموریت‌ها این کلاس از شناورهای شامل موارد زیر است
- Mine Sweep & Hunt: جستجو و پاک‌سازی مین‌های دریایی برای ایمن‌سازی مسیرهای تجاری.

این گروه از بزرگ‌ترین وسایل سطحی بدون سرنشین است که برای مأموریت‌های پیچیده طراحی شده‌اند.

- طول: بیش از ۵ متر
- ویژگی‌ها این کلاس از شناورهای شامل موارد زیر است:
- کاملاً خودمختار و مستقل در عملیات.
- توانایی هماهنگی با دیگر سیستم‌های دریایی.
- قابلیت عملیات فراتر از دید مستقیم (OTH - Over The Horizon).
- به‌کارگیری در عملیات‌های طولانی و پایدار با حجم بالا.
- نمونه Ghost Fleet Overlord LUSV: ناوگان خودمختار آزمایشی برای بهبود فناوری و تاکتیک‌ها.
- مأموریت‌ها این کلاس از شناورهای شامل موارد زیر است:
- ISR: جمع‌آوری اطلاعات، نظارت و شناسایی.
- EW: جنگ الکترونیک، شامل ایجاد اختلال در رادار و ارتباطات دشمن.
- SUW / ASUW: جنگ سطحی و ضدسطحی با قابلیت استفاده از تسلیحات سنگین.
- لجستیک: حمل تجهیزات و پشتیبانی از ناوگان بزرگ‌تر.
- این کلاس در نقش پیشگام فناوری عمل می‌کند و به تدریج به ساختار اصلی ناوگان دریایی اضافه می‌شود.



شکل ۴- شناور سطحی بدون سرنشین کلاس بزرگ

Medium USVs (Class 3) : وسایل نقلیه متوسط

- این طبقه برای مأموریت‌های چندمنظوره طراحی شده و قابلیت انجام عملیات ضدزیردریایی و حفاظت مسلح را دارد.
- طول: ۱۲ تا ۵۰ متر
- ویژگی‌ها این کلاس از شناورهای شامل موارد زیر است:
- قابلیت رهاسازی شناورهای بدون سرنشین زیرسطحی

کمتری قرار گیرد و عملیات‌های پیچیده در فواصل دور از ناوگان اصلی به شکل موثرتری اجرا شوند. همچنین، کاهش هزینه‌ها و افزایش سرعت واکنش در مقابله با تهدیدات جدید از جمله دزدی دریایی و مین‌های دریایی، از مزایای دیگر این وسایل هستند.

۴. مروری بر مقالات پر استناد در حوزه شناورهای سطحی بدون سرنشین

شناورهای سطحی بدون سرنشین به دلیل قابلیت‌های منحصر به فردشان در کاربردهای نظامی و غیرنظامی، مورد توجه بسیاری از محققان و مهندسان قرار گرفته‌اند. حوزه شناورهای سطحی بدون سرنشین در حال توسعه سریع است و با پیشرفت تکنولوژی، کاربردهای آن نیز گسترش می‌یابد. محققان و مهندسان به طور مداوم در تلاشند تا چالش‌ها را شناسایی کرده و راه‌حل‌هایی برای بهبود کارایی و امنیت این شناورها ارائه دهند. در زیر به برخی از موضوعات و مقالات پر استناد در این حوزه اشاره می‌شود. این جدول شامل اطلاعات دقیق‌تری از مقالات پر استناد در حوزه شناورهای سطحی بدون سرنشین است که می‌تواند به عنوان مرجع مفیدی برای تحقیقات و مطالعات بیشتر مورد استفاده قرار گیرد. این مقالات مروری جامع و تخصصی بر نوآوری‌ها، چالش‌ها و پیشرفت‌های اخیر در حوزه شناورهای سطحی بدون سرنشین ارائه می‌دهند و به درک بهتر از وضعیت فعلی این فناوری‌ها و چشم‌انداز آینده آن‌ها کمک می‌کنند.

○ Armed Patrol: گشت‌زنی مسلح برای مقابله با تهدیدات کوچک و محلی (مثل دزدی دریایی).



شکل ۶- شناور سطحی بدون سرنشین کلاس کوچک

Very Small USVs (Class 1): وسایل نقلیه بسیار کوچک

این گروه شامل وسایل نقلیه جمع‌وجور با قابلیت‌های محدودی است.

- طول: کمتر از ۷ متر
- ویژگی‌ها این کلاس از شناورهای شامل موارد زیر است
 - برخی مدل‌ها به‌طور اختیاری با سرنشین کار می‌کنند
 - بسیار چابک و مناسب برای مأموریت‌های فوری.

• نمونه‌ها:

- GARC: یک وسیله نقلیه کوچک قابل استفاده در عملیات‌های سریع.
- مأموریت‌ها این کلاس از شناورهای شامل موارد زیر است:
 - نظارت و جمع‌آوری اطلاعات.
 - Comm Relay: انتقال پیام‌ها و حفظ ارتباطات بین نیروها.
 - Armed Escort: محافظت مسلح از کشتی‌ها و قایق‌های بزرگ‌تر.



شکل ۷- شناور سطحی بدون سرنشین کلاس بسیار کوچک

این وسایل نقلیه بدون سرنشین بخش مهمی از آینده نیروی دریایی را تشکیل می‌دهند و به افزایش توانایی‌های جنگی و امنیت دریایی کمک می‌کنند. خودمختاری بیشتر این وسایل باعث می‌شود که نیروی انسانی در معرض خطر

جدول ۲- لیستی از مقالات پراستناد در حوزه شناورهای سطحی

ردیف	مقاله	خلاصه	نویسنده (ها)	سال انتشار	محل چاپ
۱	"Autonomous Navigation Systems for Unmanned Surface Vehicles"	این مقاله به بررسی الگوریتم‌ها و تکنیک‌های مختلف برای ناوبری خودکار شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌پردازد و تأثیرات آنها بر بهبود عملکرد این وسایل را مورد بررسی قرار می‌دهد.	J. Smith, A. Johnson	۲۰۲۰	Journal of Marine Technology
۲	"Advanced Obstacle Detection and Collision Avoidance for USVs"	مقاله‌ای که به تکنیک‌های پیشرفته تشخیص موانع و جلوگیری از برخورد در شناورهای سطحی بدون سرنشین پرداخته و چگونگی بهبود ایمنی در مسیرهای دریایی پرتراffic را بررسی می‌کند.	L. Brown, M. Davis	۲۰۲۱	International Journal of Robotics
۳	"Multibeam Sonar and Imaging Technologies for Underwater Mapping"	مقاله‌ای که به بررسی سیستم‌های سونار چند پرتو و تکنیک‌های تصویربرداری پیشرفته برای تولید نقشه‌های سه‌بعدی از بستر دریا می‌پردازد.	R. Wilson, S. Green	۲۰۱۹	Marine Geophysical Research
۴	"Real-time Environmental Monitoring Using USVs"	مقاله‌ای که کاربرد های مستشورهایی محیطی در شناورهای سطحی بدون سرنشین و توانایی آنها برای جمع‌آوری داده‌های زیست‌محیطی به صورت زمان واقعی را بررسی می‌کند.	K. Adams, T. Lee	۲۰۲۲	Environmental Monitoring Journal
۵	"Hybrid and Electric Propulsion Systems for USVs"	مقاله‌ای که به بررسی سیستم‌های پرتو هیبریدی و الکتریکی برای شناورهای سطحی بدون سرنشین و تأثیرات آنها بر بهبود بهره‌وری انرژی و کاهش آلایندگی می‌پردازد.	P. Taylor, N. Clark	۲۰۲۱	Journal of Sustainable Marine Tech
۶	"Battery Technologies and Energy Management for Autonomous Marine Vehicles"	مقاله‌ای که بر روی پیشرفت‌های فناوری باتری و مدیریت انرژی در وسایل نقلیه دریایی خودکار تمرکز دارد.	H. Martin, C. Evans	۲۰۲۳	Energy Storage & Management
۷	"Swarm Robotics for Unmanned Surface Vehicles"	مقاله‌ای که به بررسی کاربرد رباتیک‌های جمعی در شناورهای سطحی بدون سرنشین و چگونگی بهبود کارایی و هماهنگی بین چندین شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌پردازد.	J. White, R. Black	۲۰۲۰	Autonomous Systems Review
۸	"Collaborative Missions Using Autonomous Marine Vehicles"	مقاله‌ای که به بررسی مأموریت‌های هماهنگ شده با استفاده از چندین شناورهای سطحی بدون سرنشین و سیستم‌های خودکار دیگر می‌پردازد.	L. Green, A. Mitchell	۲۰۲۲	Marine Robotics and Automation
۹	"Offshore Platform Monitoring Using USVs"	مقاله‌ای که به بررسی کاربرد شناورهای سطحی بدون سرنشین در نظارت بر سکوها نفتی و گاز و بازرسی زیرساخت‌های زیر آبی می‌پردازد.	M. Collins, E. Murphy	۲۰۲۱	Offshore Technology Journal
۱۰	"Environmental Impact Assessment with Unmanned Surface Vehicles"	مقاله‌ای که به استفاده از شناورهای سطحی بدون سرنشین برای ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی و جمع‌آوری داده‌های محیطی در عملیات‌های دریایی می‌پردازد.	J. Brown, H. Robinson	۲۰۲۳	Environmental Impact Assessment
۱۱	"Maritime Security and Surveillance Using USVs"	مقاله‌ای که به بررسی نقش شناورهای سطحی بدون سرنشین در امنیت و نظارت دریایی و قابلیت‌های آنها در شناسایی و واکنش به فعالیت‌های مشکوک می‌پردازد.	R. Taylor, S. Lewis	۲۰۲۲	Maritime Security Review
۱۲	"Advanced Imaging and Sensor Systems for Maritime Surveillance"	مقاله‌ای که به بررسی سیستم‌های تصویربرداری و حسگری پیشرفته در شناورهای سطحی بدون سرنشین و کاربردهای آنها در نظارت دریایی می‌پردازد.	A. Johnson, L. Parker	۲۰۲۰	Journal of Maritime Surveillance
۱۳	"Autonomous Surface Vehicles: A Review"	مقاله‌ای که مروری بر فناوری‌های خودمختار در شناورهای سطحی ارائه می‌دهد و پیشرفت‌های اخیر در سیستم‌های ناوبری، مستشوره، و کنترل را بررسی می‌کند.	D. Manley	۲۰۱۶	Ocean Engineering
۱۴	"Towards the Development of Unmanned Surface Vehicles for Oceanographic Research"	این مقاله به توسعه شناورهای بدون سرنشین برای تحقیقات اقیانوس‌شناسی می‌پردازد و به استفاده از مستشوره و سیستم‌های خودمختار در این زمینه اشاره می‌کند.	T. F. Swaan, P. A. Wiggins	۲۰۱۸	IEEE Journal of Oceanic Engineering
۱۵	"Unmanned Surface Vehicles: Challenges and Future Trends"	مقاله‌ای که به چالش‌ها و روندهای آتی در توسعه شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌پردازد. از جمله مسائلی چون بهبود در سیستم‌های انرژی و ارتباطات.	X. Zhang, M. Li	۲۰۲۰	Marine Technology Society Journal
۱۶	"High-Speed Unmanned Surface Vehicles: Design and Control Strategies"	مقاله‌ای که بر طراحی و استراتژی‌های کنترل برای شناورهای سطحی با سرعت بالا تمرکز دارد.	R. Kumar, S. Singh	۲۰۱۸	IEEE Transactions on Robotics
۱۷	"Innovations in Autonomous Maritime Systems: A Decade of Progress"	مرور جامعی بر نوآوری‌ها و پیشرفت‌های اخیر در سیستم‌های دریایی خودمختار.	A. Bellingham, J. J. J. J.	۲۰۲۰	Journal of Marine Science and Technology

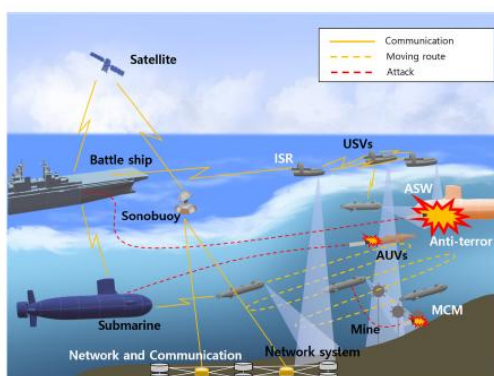
۵. کاربرد شناورهای سطحی بدون سرنشین

با ادامه تحقیقات و نوآوری‌ها، انتظار می‌رود که شناورهای سطحی بدون سرنشین نقش مهم‌تری در آینده عملیات دریایی ایفاء و تنوع اجرای دکتیرین‌های نبرد دریایی را به همراه داشته باشند. شکل‌های زیر شماتیکی از کاربرد این شناورها را در عملیات و رزم دریایی نشان می‌دهد.

شکل ۴ نشان می‌دهد که چگونه یک شناور سطحی بدون سرنشین می‌تواند به عنوان بخشی از یک سیستم بزرگ‌تر برای انجام طیف وسیعی از مأموریت‌های دریایی استفاده شوند. نکات کلیدی در اجرای مأموریت‌های توسط شناورها سطحی بدون سرنشین شامل موارد زیر است:

- انعطاف‌پذیری: شناور سطحی بدون سرنشین می‌تواند برای انجام مأموریت‌های مختلفی از جمله شناسایی، حمله و مین‌روبی استفاده شوند.
- هماهنگی شناور سطحی بدون سرنشین می‌تواند با سایر سیستم‌های دریایی مانند کشتی‌های جنگی، زیردریایی‌ها و هواپیماها همکاری کنند.
- خودمختاری: برخی از شناور سطحی بدون سرنشین می‌توانند به صورت خودکار عمل کنند و نیاز به دخالت انسان را کاهش دهند.

این شکل یک نمای کلی از نقش شناور سطحی بدون سرنشین در عملیات دریایی آینده را ارائه می‌دهد.



شکل ۴- شماتیکی از کاربرد شناورهای سطحی بدون سرنشین در رزم دریایی

شکل ۵ نشان می‌دهد که چگونه فناوری‌های جدید، به ویژه در زمینه سیستم‌های بدون سرنشین، در حال تغییر روش انجام جنگ‌های دریایی هستند. سیستم‌های نظارتی چندلایه با استفاده از شناورهای سطحی بدون سرنشین

حسگرها و فناوری‌های ارتباطی برای جمع‌آوری داده‌ها و تجزیه و تحلیل اطلاعات استفاده می‌کنند. اجزای اصلی سیستم عبارتند از:

پهپادها: چندین پهپاد در ارتفاع ۴۰۰۰ متری از سطح آب در حال پرواز هستند. این پهپادها مجهز به سنسورهایی هستند که می‌توانند تصاویر با وضوح بالا، داده‌های راداری و سایر اطلاعات را جمع‌آوری کنند. پهپادها می‌توانند برای نظارت بر مناطق وسیع، شناسایی اهداف متحرک و ارتباط با سایر اجزای سیستم استفاده شوند.

شناورهای سطحی بدون سرنشین: چندین شناور سطحی بدون سرنشین در سطح آب در حال حرکت هستند. این شناورها می‌توانند برای انجام مأموریت‌های مختلفی مانند جمع‌آوری داده‌های اقیانوس‌شناسی، نظارت بر آلودگی و شناسایی اهداف زیر سطحی استفاده شوند.

شناورهای زیرسطحی بدون سرنشین: تعدادی شناور زیرسطحی بدون سرنشین در زیر سطح آب در حال حرکت هستند. این شناورها می‌توانند برای انجام مأموریت‌های مختلفی مانند بررسی کف دریا، جستجوی مین و جمع‌آوری داده‌های اقیانوس‌شناسی در اعماق آب استفاده شوند.

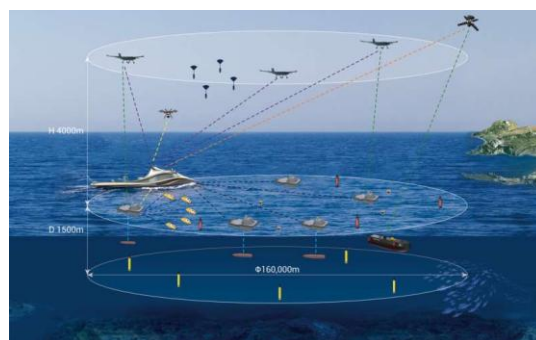
حسگرهای ثابت: در کف دریا، تعدادی حسگر ثابت مستقر شده‌اند که می‌توانند برای نظارت بر پارامترهای مختلف محیطی مانند دما، شوری، و جریان‌های آبی استفاده شوند.

شبکه ارتباطی: همه اجزای سیستم از طریق یک شبکه ارتباطی به هم متصل شده‌اند که به آن‌ها امکان می‌دهد داده‌ها را به اشتراک بگذارند و به صورت هماهنگ عمل کنند.

به طور کلی، این چیدمان لایه‌ای یک ابزار قدرتمند برای نظارت بر محیط‌های دریایی و انجام عملیات‌های دریایی است.

یک ابزار قدرتمند برای نظارت بر محیط‌های دریایی هستند و به مقامات کمک می‌کنند تا به طور مؤثرتری بر فعالیت‌ها و شرایط دریایی نظارت داشته باشند. با پیشرفت فناوری، این سیستم‌ها توانایی بیشتری برای پاسخ به چالش‌های مختلف محیطی و امنیتی خواهند داشت. این سیستم‌ها از چندین لایه یا سطح تشکیل شده‌اند که هر یک از آنها نقش خاصی در جمع‌آوری و پردازش اطلاعات دارند. این لایه‌ها معمولاً شامل موارد زیر هستند:

- **لایه حسگرها:** شامل حسگرهای زیر آب، سطحی و هوایی که برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده می‌شوند.
- **لایه پردازش داده:** داده‌های جمع‌آوری شده از حسگرها در این لایه تجزیه و تحلیل و پردازش می‌شوند.
- **لایه تجزیه و تحلیل و تصمیم‌گیری:** این لایه شامل الگوریتم‌های هوش مصنوعی و مدل‌های تحلیلی برای ارائه پیش‌بینی‌ها و تصمیمات هوشمند است.
- **لایه ارتباطی:** به ارتباطات بین شناورهای سطحی بدون سرنشین و ایستگاه‌های کنترل یا دیگر شناورها اشاره دارد.



شکل ۵- یک سیستم نظارتی چند لایه در محیط دریایی با استفاده از شناورهای سطحی بدون سرنشین

تصویر ارائه شده، یک سیستم نظارتی پیچیده را در یک محیط دریایی به تصویر می‌کشد که از چندین لایه و انواع مختلف حسگرها تشکیل شده است. این سیستم برای جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات در مورد محیط آبی و فعالیت‌های روی سطح آب و زیر آن طراحی شده است. سیستم‌های نظارتی چندلایه در محیط دریایی با استفاده از شناورهای سطحی بدون سرنشین به یک رویکرد جامع برای پایش و کنترل فعالیت‌های دریایی اشاره دارند. این سیستم‌ها از ترکیب شناورهای سطحی بدون سرنشین

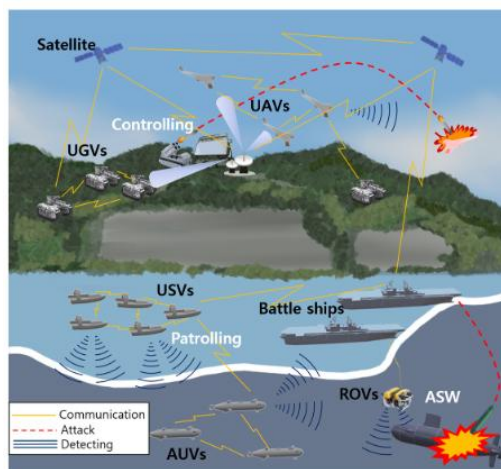
(شناورهای زیرسطحی و سطحی بدون سرنشین) به شبکه‌ای از شناورها اشاره دارند که به طور همزمان و هماهنگ برای انجام وظایف مختلف عمل می‌کنند. این سیستم‌ها در کاربردهای مختلف، از جمله تحقیقاتی، نظامی و تجاری، مزایای قابل توجهی ارائه می‌دهند. در ادامه به توضیح جزئیات این سیستم‌ها می‌پردازیم:

شناور زیرسطحی بدون سرنشین و شناور سطحی بدون سرنشین با استفاده از پروتکل‌های ارتباطی بی‌سیم (مانند Wi-Fi، LTE یا پروتکل‌های مخصوص دریا) با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. این ارتباط به تبادل داده‌ها، وضعیت و دستورات کمک می‌کند. اصولاً یک ایستگاه کنترل مرکزی معمولاً برای مدیریت عملیات این دو نوع شناور استفاده می‌شود. این ایستگاه می‌تواند اطلاعات را جمع‌آوری کرده و تصمیمات استراتژیک بگیرد.

شناورهای سطحی بدون سرنشین به عنوان ابزارهای کلیدی برای بهبود کارایی و کاهش هزینه‌ها در عملیات‌های فراساحلی به کار می‌روند. برخی از کاربردهای اصلی این فناوری در این صنعت عبارتند از [1-4]:

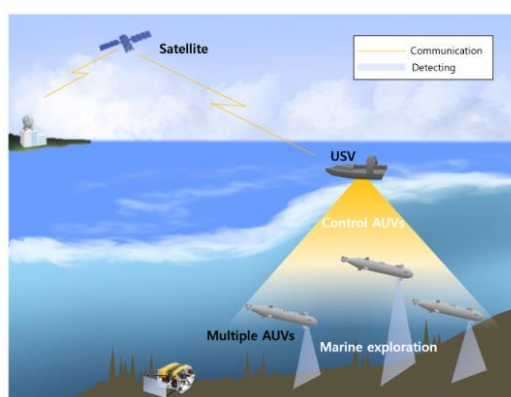
- **نظارت بر سکوهای نفتی:** شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند به طور مداوم و خودکار بر سکوهای نفتی نظارت کنند، وضعیت عملیاتی و ساختاری آنها را پایش نمایند و مشکلات احتمالی را شناسایی کنند. این نظارت می‌تواند شامل بررسی وضعیت زیرساخت‌ها، کنترل نشت‌ها و شناسایی آسیب‌های ساختاری باشد.
- **بازرسی زیرساخت‌های زیرآبی:** شناورهای سطحی بدون سرنشین به کمک تجهیزات تخصصی مانند وسایل نقلیه تحت کنترل از راه دور قادر به بازرسی دقیق زیرساخت‌های زیرآبی هستند. این بازرسی‌ها شامل بررسی لوله‌های زیرآبی، کابل‌ها و سایر تجهیزات است که می‌تواند به شناسایی آسیب‌ها، نشت‌ها و نیاز به تعمیر و نگهداری کمک کند.

- **انجام بررسی‌های زیست‌محیطی:** در صنعت نفت و گاز، بررسی تأثیرات زیست‌محیطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند برای جمع‌آوری داده‌های زیست‌محیطی، از جمله کیفیت آب، سطح آلودگی و تغییرات اکوسیستم‌های دریایی به کار روند. این داده‌ها به تحلیل



شکل ۶- مفهومی از صحنه نبرد دریایی شبکه محور در آینده

ادغام شناورهای سطحی بدون سرنشین با دیگر سیستم‌های خودکار، توانایی‌های عملیات دریایی را به طور قابل توجهی افزایش داده و فرصت‌های جدیدی برای جمع‌آوری داده، نظارت و مدیریت محیط‌های دریایی فراهم می‌آورد. این فناوری‌ها با هماهنگی و تعامل یکدیگر، به تحقق مأموریت‌های پیچیده و بهبود کارایی در زمینه‌های مختلف دریایی کمک می‌کنند. شکل ۶ مفهومی از جنگ شبکه محور دریایی را نمایش می‌دهد. به طور کلی، این تصویر یک نمای کلی از چگونگی استفاده از سیستم‌های بدون سرنشین در عملیات نظامی آینده را ارائه می‌دهد. با استفاده از این سیستم‌ها، نیروهای نظامی می‌توانند به طور مؤثرتری عملیات خود را انجام دهند و در عین حال خطرات برای پرسنل خود را کاهش دهند.



شکل ۷- سیستم چند عاملی شناورهای سطحی و شناورهای زیرسطحی بدون سرنشین (عملیات ترکیبی)

شکل ۷ یک سیستم چند عاملی متشکل از شناور زیرسطحی بدون سرنشین و شناور سطحی بدون سرنشین را نشان می‌دهد. این سیستم برای انجام مأموریت‌های دریایی، طراحی شده است. سیستم‌های چندعاملی

و ارزیابی تأثیرات فعالیت‌های صنعتی بر محیط زیست کمک می‌کنند.

- **کاهش نیاز به غواصان انسانی:** با استفاده از شناورهای سطحی بدون سرنشین و شناورهای زیرسطحی بدون سرنشین نیاز به غواصان انسانی در عملیات‌های زیرآبی کاهش می‌یابد. این امر باعث کاهش خطرات برای کارکنان، کاهش هزینه‌های مرتبط با غواصی و افزایش ایمنی در عملیات‌های زیرآبی می‌شود.

- **نظارت بر فعالیت‌های عملیاتی:** شناورهای سطحی بدون سرنشین‌ها می‌توانند برای نظارت بر فعالیت‌های عملیاتی در نزدیکی سکوها نفتی و سایر تجهیزات استفاده شوند. این نظارت می‌تواند شامل پایش شرایط جوی، وضعیت دریا، و ترافیک دریایی باشد تا از انجام عملیات‌ها به شیوه‌ای ایمن و مؤثر اطمینان حاصل شود.

- **پشتیبانی از عملیات‌های جستجو و نجات:** در مواقع اضطراری، شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند به عنوان ابزارهای جستجو و نجات عمل کنند. آنها قادرند به سرعت به مناطق آسیب‌دیده برسند، اطلاعات فوری را جمع‌آوری کرده و به تیم‌های امدادی کمک کنند.

- **پایش وضعیت دریا و شرایط جوی:** شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند اطلاعات مهمی درباره وضعیت دریا، امواج، جریان‌های آب و شرایط جوی جمع‌آوری کنند. این اطلاعات برای برنامه‌ریزی و مدیریت عملیات‌های فراساحلی بسیار ارزشمند است.

با توجه به این کاربردها، شناورهای سطحی بدون سرنشین به عنوان ابزاری مؤثر و کارآمد در عملیات‌های فراساحلی صنعت نفت و گاز شناخته می‌شوند و به بهبود کارایی، کاهش هزینه‌ها و افزایش ایمنی در این بخش کمک می‌کنند.

۶. مزایا بکارگیری از شناورهای سطحی بدون سرنشین در ماموریت‌های دریایی

ادغام با سیستم‌های خودکار دیگر (عملیات هماهنگ): ادغام شناورهای سطحی بدون سرنشین با سیستم‌های خودکار دیگر مانند پهپادها و روبات‌های

زیرآبی امکانات جدیدی برای ماموریت‌های هماهنگ فراهم می‌آورد [6]. این عملیات‌های هماهنگ به جمع‌آوری داده و نظارت به‌طور همزمان در حوزه‌های مختلف دریایی کمک می‌کند و بینش‌های جامع‌تری از محیط دریایی ارائه می‌دهد [7-9].

ادغام شناورهای سطحی بدون سرنشین با دیگر سیستم‌های خودکار مانند پهپادها و روبات‌های زیرآبی، امکانات جدیدی را برای انجام ماموریت‌های هماهنگ فراهم می‌آورد. این ترکیب پیشرفته به چندین جنبه از عملیات‌های دریایی کمک می‌کند [10-12]:

جمع‌آوری داده همزمان: با همکاری شناورهای سطحی بدون سرنشین و پهپادها و روبات‌های زیرآبی، می‌توان داده‌های مختلفی را به‌طور همزمان جمع‌آوری کرد. این روش به محققان و اپراتورها این امکان را می‌دهد که اطلاعات دقیقی از بخش‌های مختلف محیط دریایی به دست آورند و تحلیل جامع‌تری از شرایط دریایی و اکوسیستم‌ها ارائه دهند. [10]

نظارت و پایش جامع: عملیات هماهنگ بین سیستم‌های مختلف خودکار باعث می‌شود که نظارت و پایش گسترده‌ای در حوزه‌های مختلف دریایی صورت گیرد. برای مثال، در یک ماموریت نظارتی، شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند سطح دریا را زیر نظر داشته باشند، در حالی که پهپادها بر روی نواحی بالایی و روبات‌های زیرآبی به بررسی زیرآب پرداخته و داده‌های لازم را جمع‌آوری کنند.

افزایش کارایی و دقت: ادغام این سیستم‌ها بهبود قابل توجهی در کارایی و دقت عملیات‌های دریایی ایجاد می‌کند [4]. به عنوان مثال، پهپادها می‌توانند به شناورهای سطحی بدون سرنشین اطلاعات جغرافیایی و تصویری ارسال کنند که برای بهتر برنامه‌ریزی ماموریت و شناسایی مناطق مورد نظر مفید است. همچنین، روبات‌های زیرآبی می‌توانند داده‌های زیرآب را به شناورهای سطحی بدون سرنشین منتقل کرده و به تحلیل‌های جامع‌تر کمک کنند.

پاسخ سریع‌تر به وضعیت‌های اضطراری: همکاری بین سیستم‌های مختلف خودکار می‌تواند باعث پاسخ سریع‌تر و مؤثرتر به وضعیت‌های اضطراری شود. در صورت بروز یک حادثه یا مشکل، این سیستم‌ها می‌توانند به‌صورت هماهنگ عمل کرده و اطلاعات دقیق و فوری در اختیار تیم‌های امدادی قرار دهند. [6]

مدیریت منابع و محیط زیست: ادغام شناورهای سطحی بدون سرنشین با پهپادها و روبات‌های زیرآبی به بهبود مدیریت منابع دریایی و حفاظت از محیط زیست کمک می‌کند. با استفاده از این سیستم‌ها می‌توان اطلاعات دقیق و مستمری از وضعیت منابع طبیعی و زیستگاه‌ها به دست آورد و برنامه‌های مدیریت و حفاظت بهتری تدوین کرد.

تحقیقات علمی و کاوش‌های عمیق: این هماهنگی به تسهیل تحقیقات علمی و کاوش‌های عمیق در دریا کمک می‌کند. برای مثال، شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند سطح دریا را پایش کنند در حالی که روبات‌های زیرآبی به کاوش در عمق‌های پایین و پهپادها به بررسی شرایط جوی بپردازند [3]. این یکپارچگی اطلاعات به محققان امکان می‌دهد که مطالعه جامع‌تری از فرآیندها و پدیده‌های دریایی انجام دهند.

ادغام شناورهای سطحی بدون سرنشین با دیگر سیستم‌های خودکار، توانایی‌های عملیات دریایی را به طور قابل توجهی افزایش داده و فرصت‌های جدیدی برای جمع‌آوری داده، نظارت و مدیریت محیط‌های دریایی فراهم می‌آورد. این فناوری‌ها با هماهنگی و تعامل یکدیگر، به تحقق

کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری

با حذف نیاز به اپراتورهای انسانی در عرشه، شناورهای سطحی بدون سرنشین هزینه‌های نیروی کار را کاهش داده و بهره‌وری عملیاتی را افزایش می‌دهند [4-2]. علاوه بر این، شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند به مدت طولانی عمل کنند و نیاز به تغییر مکرر خدمه را کاهش دهند، که منجر به جمع‌آوری مداوم داده‌ها و نظارت می‌شود. استفاده از شناورهای سطحی بدون سرنشین به طور قابل توجهی به کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری در عملیات‌های دریایی کمک می‌کند. برخی از مزایای کلیدی این فناوری در این زمینه عبارتند از [4-1]:

- **کاهش هزینه‌های نیروی کار:** با استفاده از شناورهای سطحی بدون سرنشین، نیاز به اپراتورهای انسانی در عرشه کاهش می‌یابد. این به معنای کاهش هزینه‌های مربوط به کارکنان، از جمله دستمزد، آموزش، و دیگر هزینه‌های مرتبط با پرسنل است. شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند بدون نیاز به حضور

فیزیکی اپراتورها در محیط‌های دریایی به فعالیت خود ادامه دهند.

- **افزایش بهره‌وری عملیاتی:** شناورهای سطحی بدون سرنشین با توانایی‌های خودمختار و عملیات مداوم، بهره‌وری را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهند. این وسایل قادرند به صورت شبانه‌روزی و بدون توقف عمل کنند، که به جمع‌آوری داده‌ها و انجام وظایف مختلف به طور مداوم و کارآمد کمک می‌کند.

- **کاهش نیاز به تغییر مکرر خدمه:** یکی از مزایای دیگر شناورهای سطحی بدون سرنشین این است که نیاز به تغییر مکرر خدمه را کاهش می‌دهند. در عملیات‌های دریایی سنتی، تغییر خدمه و تجهیزاتی که نیاز به حضور انسانی دارند، می‌تواند هزینه‌بر و زمان‌بر باشد. شناورهای سطحی بدون سرنشین با قابلیت عملکرد طولانی‌مدت، این نیاز را به حداقل می‌رسانند [6].

- **عملیات مداوم و جمع‌آوری داده‌های پیوسته:** شناورهای سطحی بدون سرنشین به دلیل توانایی عملکرد طولانی‌مدت و بدون نیاز به تغییر خدمه، قادر به جمع‌آوری مداوم داده‌ها و انجام نظارت‌های پیوسته هستند. این امر به تحلیل و تصمیم‌گیری به موقع کمک کرده و بهبود قابل توجهی در کیفیت داده‌ها و اطلاعات فراهم می‌آورد [5].

- **کاهش نیاز به تعمیر و نگهداری مکرر:** به دلیل طراحی و مواد مقاوم، شناورهای سطحی بدون سرنشین معمولاً نیاز به تعمیر و نگهداری کمتری نسبت به کشتی‌های سنتی دارند. این امر به کاهش هزینه‌های نگهداری و بهبود اقتصادی عملیات کمک می‌کند.

- **کاهش هزینه‌های سوخت و انرژی:** بسیاری از شناورهای سطحی بدون سرنشین از سیستم‌های پیشرفته برقی یا هیبریدی استفاده می‌کنند که نسبت به سیستم‌های سنتی سوختی، مصرف انرژی کمتری دارند. این کاهش مصرف سوخت و انرژی به کاهش هزینه‌های عملیاتی و کاهش تأثیرات زیست‌محیطی کمک می‌کند [4].

- **افزایش دسترسی به مناطق دورافتاده:** شناورهای سطحی بدون سرنشین قادرند به مناطق دورافتاده و دشوار

شناورها می‌توانند به طور خودکار به تغییرات محیطی واکنش نشان داده و ماموریت‌های مختلفی را به طور همزمان انجام دهند. این دستاوردها و محصولات نشان می‌دهند که شناورهای سطحی بدون سرنشین به عنوان یکی از فناوری‌های مهم و نوآورانه در صنعت دریایی به سرعت در حال توسعه هستند و توانایی‌های جدید و پیشرفته‌ای را برای انجام عملیات‌های متنوع فراهم می‌کنند. شناورهای خودمختار به طور کامل از سیستم‌های ناوبری و کنترل خودکار برای انجام ماموریت‌های مختلف استفاده می‌کنند [15]. برخی از این شناورها، مانند سی هانترا^۱ که توسط دارپا (آژانس پروژه‌های تحقیقاتی پیشرفته دفاعی آمریکا) توسعه داده شده است، به منظور عملیات‌های ضد زیردریایی طراحی شده‌اند و می‌توانند بدون دخالت انسان به مدت طولانی در دریا فعالیت کنند، این شناور یکی از پیشرفته‌ترین شناورهای خودمختار است که با استفاده از هوش مصنوعی و سیستم‌های پیشرفته راداری، می‌تواند ماموریت‌های طولانی مدت ضد زیردریایی را انجام دهد. سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی و الگوریتم‌های یادگیری تقویتی برای بهبود ناوبری خودکار در شرایط متغیر دریایی استفاده می‌شوند. [16-18]

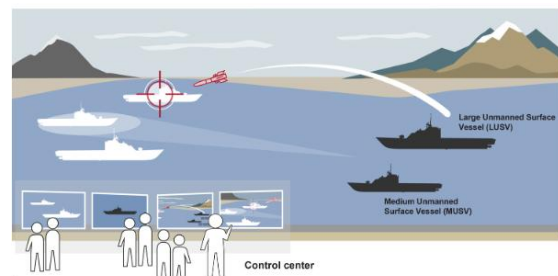
افزایش استفاده از هوش مصنوعی و تصمیم‌گیری خودکار در شناورهای سطحی بدون سرنشین یکی از مهم‌ترین دستاوردهای اخیر است که نقش کلیدی در افزایش خودمختاری، کارایی و دقت این سیستم‌ها ایفاء می‌کند [19].

۱-۷- پردازش داده‌های محیطی در زمان واقعی

سیستم‌های هوش مصنوعی به شناورهای سطحی بدون سرنشین امکان می‌دهند تا داده‌های حسگرهای مختلف از جمله دوربین‌ها، لیدار، رادار و سونار را در زمان واقعی پردازش کنند. این داده‌ها شامل اطلاعاتی در مورد موانع، شرایط آب و هوایی، جریان‌های آبی و سایر اشیاء موجود در مسیر است. هوش مصنوعی این داده‌ها را پردازش کرده و تصمیماتی را برای تغییر مسیر، اجتناب از برخورد یا

دسترسی پیدا کنند که ممکن است برای کشتی‌های بزرگ و سنتی مشکل باشد. این ویژگی باعث افزایش کارایی و کاهش هزینه‌های مرتبط با عملیات در این مناطق می‌شود [1].

با توجه به این مزایا، شناورهای سطحی بدون سرنشین به طور قابل توجهی به کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری در عملیات‌های دریایی کمک می‌کنند. این ویژگی‌ها باعث می‌شوند که شناورهای سطحی بدون سرنشین به یک انتخاب اقتصادی و مؤثر برای انواع مختلف فعالیت‌های دریایی تبدیل شوند.



شکل ۸- شماتیکی از کاربرد شناور سطحی بدون سرنشین در نبرد دریایی [6]

۷. آخرین دستاوردها علمی در حوزه شناورهای سطحی بدون سرنشین

وسایل نقلیه سطحی بدون سرنشین در سال‌های اخیر به تحولات قابل توجهی دست یافته‌اند که تأثیرات عمیقی بر عملیات‌های دریایی گذاشته است. این پیشرفت‌ها به طور کلی به چندین حوزه اصلی تقسیم می‌شوند: فناوری‌های درگیر و تاثیرگذار در حوزه شناورهای سطحی بدون سرنشین شامل ترکیبی از پیشرفت‌های اخیر در حوزه‌های هوش مصنوعی، سیستم‌های خودمختار، ارتباطات بی‌سیم، مواد پیشرفته، و انرژی پایدار می‌شود. این فناوری‌ها بهبود قابل توجهی در کارایی، ایمنی، و انعطاف‌پذیری عملیات این شناورها فراهم کرده‌اند [11-14].

۷-۱- افزایش قابلیت‌های خودمختاری و هوش مصنوعی دستاوردها

پیشرفت در فناوری‌های هوش مصنوعی به توسعه شناورهای سطحی با قابلیت‌های تصمیم‌گیری پیچیده و تطبیق با شرایط متغیر محیطی کمک کرده است. این

^۱ Sea Hunter

انتخاب بهترین راه برای انجام مأموریت اتخاذ می‌کند [20]. به عنوان مثال، الگوریتم‌های یادگیری عمیق و شبکه‌های عصبی به شناورها این امکان را می‌دهند که به سرعت الگوهای مختلف در محیط را تشخیص داده و بر اساس آن‌ها عمل کنند [19]. این توانایی به ویژه در شرایط بحرانی و پیش‌بینی‌ناپذیر بسیار مفید است.

۷-۱-۲- خودمختاری کامل در انجام مأموریت‌ها

یکی از چالش‌های اصلی در عملیات‌های دریایی، نبود قابلیت تصمیم‌گیری سریع و مستقل در شرایط تغییرات محیطی یا مواجهه با موانع پیش‌بینی نشده است [20]. هوش مصنوعی با به کارگیری الگوریتم‌های خودمختاری، به شناورهای سطحی بدون سرنشین اجازه می‌دهد که مأموریت‌های خود را با کمترین دخالت انسانی انجام دهند. برای مثال، در مأموریت‌های نظارتی یا پاکسازی مین‌های دریایی، هوش مصنوعی می‌تواند برنامه‌ریزی مسیر را با توجه به اطلاعات دریافتی از محیط به‌طور خودکار انجام داده و در صورت مشاهده تهدیدات یا موانع، اقدامات لازم را اتخاذ کند. این به معنای کاهش زمان واکنش و افزایش ایمنی در مأموریت‌ها است [21-23].

۷-۱-۳- تصمیم‌گیری در شرایط بحرانی

یکی از قابلیت‌های برجسته هوش مصنوعی در شناورهای سطحی بدون سرنشین تصمیم‌گیری سریع در شرایط بحرانی است. در حالی که سیستم‌های سنتی نیاز به تصمیم‌گیری‌های دستی و فرماندهی از سوی اپراتورهای انسانی دارند، هوش مصنوعی می‌تواند در شرایط خاص مانند تغییرات ناگهانی در شرایط آب و هوایی یا برخورد با موانع پیش‌بینی نشده، به سرعت تصمیمات مناسب را اتخاذ کند. [24-26] به عنوان مثال، اگر شناورهای سطحی بدون سرنشین در یک مأموریت با یک کشتی دیگر یا مانعی دریایی روبه‌رو شود، سیستم هوش مصنوعی می‌تواند به سرعت مسیر را تغییر دهد و از برخورد اجتناب کند، بدون نیاز به دخالت انسانی.

۷-۱-۴- الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی

یکی دیگر از کاربردهای مهم هوش مصنوعی در شناورهای سطحی بدون سرنشین بهینه‌سازی مصرف انرژی است. با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، سیستم‌های هوش مصنوعی می‌توانند الگوهای مصرف انرژی را تجزیه و تحلیل کرده و روش‌هایی برای کاهش مصرف انرژی و افزایش کارایی شناورها ارائه دهند [27]. این امر به ویژه در مأموریت‌های طولانی‌مدت که نیاز به حفظ انرژی برای مدت طولانی است، اهمیت دارد.

۷-۱-۵- تشخیص و شناسایی تهدیدات و موانع دریایی

با استفاده از هوش مصنوعی، شناورهای سطحی بدون سرنشین قادر به شناسایی تهدیدات دریایی مانند شناورهای دشمن، مین‌های دریایی، و سایر موانع به صورت خودکار هستند [28]. سیستم‌های پیشرفته تشخیص تصاویر و تحلیل داده‌های حسگرها، به شناورهای سطحی بدون سرنشین این امکان را می‌دهند که اشیاء و موقعیت‌های خطرناک را با دقت بالایی شناسایی کنند و واکنش مناسب را نشان دهند [29-31].

۷-۱-۶- هوش جمعی و عملیات گروهی

یکی از دستاوردهای مهم هوش مصنوعی در شناورهای سطحی بدون سرنشین، توانایی این شناورها در اجرای عملیات‌های گروهی و همکاری با سایر پلتفرم‌های بدون سرنشین مانند پهپادها و زیرسطحی‌های بدون سرنشین است. با استفاده از هوش جمعی^۱، چندین شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند با هم همکاری کرده و مأموریت‌های پیچیده‌ای مانند نظارت دریایی گسترده یا جست‌وجو و نجات در مناطق بزرگ را انجام دهند [30]. این سیستم‌ها با استفاده از ارتباطات بی‌سیم، داده‌های محیطی را با یکدیگر به اشتراک می‌گذارند و به‌طور همزمان تصمیمات مشترکی برای بهبود کارایی و پوشش‌دهی بیشتر می‌گیرند.

۷-۱-۷- پیش‌بینی شرایط و بهینه‌سازی عملکرد

الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند از داده‌های تاریخی و لحظه‌ای برای پیش‌بینی شرایط آینده استفاده کنند. این قابلیت به شناورهای سطحی بدون سرنشین اجازه می‌دهد تا بهینه‌سازی‌هایی در مسیر و استراتژی مأموریت‌های خود

^۱ Swarm Intelligence

انجام دهند. برای مثال، هوش مصنوعی می‌تواند بر اساس پیش‌بینی شرایط آب و هوایی و جریان‌های آبی، بهترین مسیر با کمترین مصرف انرژی و زمان را انتخاب کند.[31]

۸-۱-۷- کاهش وابستگی به ارتباطات انسانی

استفاده از هوش مصنوعی در تصمیم‌گیری خودکار باعث کاهش نیاز به ارتباطات مداوم با اپراتورهای انسانی می‌شود. این امر نه تنها به کاهش تأخیر در تصمیم‌گیری‌ها کمک می‌کند، بلکه به شناورهای سطحی بدون سرنشین اجازه می‌دهد تا در مناطقی که ارتباطات محدود یا قطع است، به طور مستقل عملیات انجام دهند[32-34]. همچنین، این ویژگی باعث افزایش امنیت سیستم‌های شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌شود، زیرا امکان قطع یا تداخل در ارتباطات کاهش می‌یابد.

۹-۱-۷- بهبود یادگیری و تطبیق‌پذیری با محیط‌های مختلف

الگوریتم‌های هوش مصنوعی مبتنی بر یادگیری تقویتی و یادگیری عمیق به شناورهای سطحی بدون سرنشین اجازه می‌دهند که با محیط‌های جدید و شرایط غیرمنتظره سازگار شوند. این سیستم‌ها می‌توانند از تجربیات گذشته برای بهبود عملکرد خود در مأموریت‌های آینده استفاده کنند. به عنوان مثال، اگر شناورهای سطحی بدون سرنشین در یک مأموریت با شرایط نامساعد جوی یا چالش‌های ناوبری خاص مواجه شود، هوش مصنوعی می‌تواند با یادگیری از این تجربه، عملکرد خود را در مأموریت‌های بعدی بهبود بخشد.[30-32]

خودمختاری تطبیقی: شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند با ارزیابی و تطبیق مأموریت‌های خود بر اساس شرایط متغیر، در محیط‌های پویا و غیرقابل پیش‌بینی عمل کنند. این تطبیق‌پذیری به آنها اجازه می‌دهد که به وضعیت‌های اضطراری پاسخ دهند، اهداف متغیر را دنبال کنند و رفتار خود را به تناسب مقررات و نیازهای محیطی تنظیم کنند. خودمختاری تطبیقی یکی از ویژگی‌های پیشرفته‌ای است که به شناورهای سطحی بدون سرنشین (وسایل نقلیه سطحی بدون سرنشین) امکان می‌دهد تا در محیط‌های پویا و غیرقابل پیش‌بینی به طور مؤثر عمل کنند[33]. این قابلیت به معنای توانایی شناورهای سطحی

بدون سرنشین در ارزیابی وضعیت‌های متغیر و تنظیم عملکرد خود بر اساس تغییرات شرایط محیطی است. ویژگی‌های کلیدی این توانایی شامل موارد زیر است:

- **پاسخ به وضعیت‌های اضطراری:** شناورهای سطحی بدون سرنشین قادرند به طور خودکار به وضعیت‌های اضطراری و تغییرات غیرمنتظره در محیط پاسخ دهند[31]. این شامل شناسایی و واکنش به خطرات، تغییرات ناگهانی در شرایط جوی، یا مشکلات فنی است که ممکن است به وقوع بپیوندد. این ویژگی به افزایش امنیت و کارایی عملیات‌های انجام‌شده توسط شناورهای سطحی بدون سرنشین کمک می‌کند[35].

- **دنبال کردن اهداف متغیر:** شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند اهداف متغیر را در طول مأموریت دنبال کنند. به عنوان مثال، در عملیات‌های نظارتی یا جستجو و نجات، شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند به طور خودکار به سمت اهداف جدید حرکت کرده و مسیرهای مناسب را برای رسیدن به این اهداف انتخاب کنند[32].

- **تنظیم رفتار مطابق با مقررات و نیازهای محیطی:** شناورهای سطحی بدون سرنشین قادرند رفتار خود را بر اساس مقررات دریایی و نیازهای محیطی تنظیم کنند. این به معنای توانایی تطبیق با قوانین و مقررات مختلف در مناطق جغرافیایی مختلف و تغییرات در شرایط محیطی است[36]. به عنوان مثال، شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند به طور خودکار سرعت و مسیر خود را تنظیم کنند تا با قوانین کشتی‌رانی مطابقت داشته باشند و در شرایط جوی مختلف به درستی عمل کنند. این خودمختاری تطبیقی به شناورهای سطحی بدون سرنشین این امکان را می‌دهد که در محیط‌های پیچیده و متغیر با انعطاف‌پذیری بیشتری عمل کنند و عملکرد بهتری در شرایط مختلف داشته باشند. این ویژگی به ویژه در محیط‌های دریایی که ممکن است به طور مداوم تغییر کنند و شرایط غیرقابل پیش‌بینی وجود داشته باشد، اهمیت دارد. توانایی تطبیق به شناورهای سطحی بدون سرنشین کمک می‌کند تا به طور مؤثرتر به نیازهای مختلف پاسخ دهند و مأموریت‌های خود را با موفقیت به پایان برسانند[38]. این پیشرفت‌ها در استفاده از هوش مصنوعی

و تصمیم‌گیری خودکار به طور کلی به افزایش کارایی، ایمنی، و انعطاف‌پذیری شناورهای سطحی بدون سرنشین در عملیات‌های مختلف کمک کرده‌اند و نقش کلیدی در آینده فناوری‌های دریایی خواهند داشت.

۷-۲-۲- فناوری‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین

دستاوردها: هوش مصنوعی و یادگیری ماشین به طور گسترده در توسعه سیستم‌های خودمختار استفاده می‌شوند. این فناوری‌ها به شناورهای سطحی بدون سرنشین امکان می‌دهند که به صورت مستقل تصمیم‌گیری کنند و به شرایط محیطی مختلف واکنش نشان دهند. الگوریتم‌های یادگیری عمیق برای بهبود قابلیت‌های جلوگیری از برخورد، شناسایی موانع، و بهینه‌سازی مسیر کاربرد دارند.

۷-۲-۱- تشخیص موانع و اجتناب از برخورد

الگوریتم‌های پردازش تصویر و یادگیری ماشین برای شناسایی موانع و اتخاذ تصمیمات برای اجتناب از برخورد استفاده می‌شوند. سیستم‌های تشخیص موانع و جلوگیری از برخورد که شامل حسگرهایی مانند رادار، لیدار و دوربین‌ها هستند، به افزایش ایمنی و قابلیت اطمینان شناورهای سطحی بدون سرنشین کمک می‌کنند. این سیستم‌ها اطمینان حاصل می‌کنند که شناورهای سطحی بدون سرنشین در آبراه‌های شلوغ و یا مناطقی با ترافیک بالا به طور ایمن حرکت کنند [18-21]. پیشرفت‌های اخیر در سیستم‌های تشخیص موانع و جلوگیری از برخورد، به‌ویژه در زمینه استفاده از حسگرها و فناوری‌های پیشرفته، به طور قابل توجهی به افزایش ایمنی و قابلیت اطمینان شناورهای سطحی بدون سرنشین (وسایل نقلیه سطحی بدون سرنشین) کمک کرده است. این سیستم‌ها برای اطمینان از حرکت ایمن شناورهای سطحی بدون سرنشین در محیط‌های پیچیده و شلوغ طراحی شده‌اند. ویژگی‌های کلیدی این پیشرفت‌ها شامل موارد زیر است:

۷-۲-۲- تشخیص و شناسایی موانع

سیستم‌های پیشرفته تشخیص موانع به شناورهای سطحی بدون سرنشین این امکان را می‌دهند که موانع مختلف را شناسایی کنند. این سیستم‌ها شامل حسگرهایی مانند رادار، لیدار و دوربین‌ها هستند که به شناورهای سطحی

بدون سرنشین کمک می‌کنند تا اشیاء، موانع و خطرات احتمالی را در مسیر خود شناسایی کنند [25-27]. این ویژگی به ویژه در شرایطی که دید محدود است یا در آبراه‌های شلوغ با تعداد زیادی کشتی و موانع دیگر وجود دارد، اهمیت دارد.

۷-۲-۳- پیشگیری از برخورد

سیستم‌های جلوگیری از برخورد به شناورهای سطحی بدون سرنشین کمک می‌کنند تا از برخورد با موانع و اشیاء دیگر جلوگیری کنند. این سیستم‌ها قادرند مسیر حرکت شناورهای سطحی بدون سرنشین را به‌طور خودکار تغییر دهند یا سرعت آن را کاهش دهند تا از برخورد با موانع جلوگیری کنند. این قابلیت به افزایش ایمنی در عملیات‌های دریایی و کاهش خطرات ناشی از تصادفات کمک می‌کند [11-12].

۷-۲-۴- افزایش ایمنی در آبراه‌های شلوغ

با استفاده از این سیستم‌ها، شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند به طور ایمن در آبراه‌های شلوغ و مناطقی با ترافیک بالا حرکت کنند. این سیستم‌ها به شناورهای سطحی بدون سرنشین کمک می‌کنند تا به طور مؤثر از موانع و کشتی‌های دیگر اجتناب کنند و مسیر حرکت خود را به طور خودکار تنظیم کنند تا در شرایط شلوغ و پیچیده به‌طور ایمن حرکت کنند [14].

۷-۲-۵- ارتقای قابلیت اطمینان

این فناوری‌ها به افزایش قابلیت اطمینان شناورهای سطحی بدون سرنشین کمک می‌کنند و آنها را قادر می‌سازند که با اعتماد به نفس بیشتری در شرایط مختلف محیطی عمل کنند. سیستم‌های پیشرفته تشخیص موانع و جلوگیری از برخورد به شناورهای سطحی بدون سرنشین این امکان را می‌دهند که با دقت بیشتری حرکت کنند و از تصادفات و مشکلات ناشی از برخورد با موانع جلوگیری کنند. [15]

این پیشرفت‌ها در سیستم‌های تشخیص موانع و جلوگیری از برخورد، به‌ویژه در محیط‌های دریایی که ممکن است با تعداد زیادی موانع و خطرات همراه باشند، بهبود قابل توجهی در ایمنی و قابلیت اطمینان شناورهای سطحی

بدون سرنشین ایجاد کرده و به آنها کمک می‌کند تا مأموریت‌های خود را با موفقیت بیشتری انجام دهند.

۳-۷- سیستم‌های پیشرفته هدایت و ناوبری

سیستم‌های پیشرفته هدایت و ناوبری در شناورهای سطحی بدون سرنشین نقش کلیدی در بهبود عملکرد، ایمنی و کارایی این شناورها ایفا می‌کنند. این سیستم‌ها با استفاده از فناوری‌های نوین، امکان انجام مأموریت‌های پیچیده و خودمختار را فراهم می‌آورند [41-43].

۱-۳-۷- انواع سیستم‌های هدایت و ناوبری

الف. سیستم ناوبری جهانی (GNSS)

GNSS (Global Navigation Satellite System) شامل سیستم‌هایی مانند GPS، GLONASS، و Galileo است که به شناورهای سطحی بدون سرنشین اجازه می‌دهد تا موقعیت دقیق خود را در هر زمان و مکانی تعیین کنند. این سیستم‌ها معمولاً در ترکیب با دیگر حسگرها برای افزایش دقت و اطمینان استفاده می‌شوند [41].

ب. حسگرهای Inertial Navigation System (INS)

INS از حسگرهای شتاب‌سنج وژیروسکوپ برای محاسبه موقعیت، سرعت و جهت حرکت استفاده می‌کند. این سیستم‌ها به خصوص در مواقعی که سیگنال GNSS موجود نیست، مانند در مناطق شهری یا زیر سطح دریا، بسیار مفید هستند.

۲-۳-۷- فناوری‌های پیشرفته در ناوبری

الف. فناوری لیدار (Lidar)

لیدار از پرتوهای لیزری برای شناسایی موانع و ایجاد نقشه‌های سه‌بعدی از محیط استفاده می‌کند. این فناوری به شناورهای سطحی بدون سرنشین کمک می‌کند تا در زمان واقعی موانع را شناسایی کرده و مسیر خود را به‌طور خودکار تغییر دهند.

ب. فناوری رادار

رادارها برای شناسایی اشیاء و موانع در فواصل دور به کار می‌روند. این سیستم‌ها می‌توانند در شرایط آب و هوایی نامساعد یا در شب که دید بصری محدود است، به‌طور مؤثری عمل کنند.

ج. بنیایی ماشین و یادگیری عمیق

با استفاده از دوربین‌ها و الگوریتم‌های یادگیری عمیق، شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند اشیاء و موانع را شناسایی کرده و تحلیل کنند. این سیستم‌ها به شناورها

کمک می‌کند تا تصمیمات بهتری در مورد مسیر حرکت خود اتخاذ کنند.

۳-۳-۷- الگوریتم‌های مسیریابی و برنامه‌ریزی مسیر

الف. الگوریتم‌های مسیریابی دینامیک

این الگوریتم‌ها به شناورهای سطحی بدون سرنشین کمک می‌کند تا مسیرهای بهینه را با توجه به تغییرات محیطی، موانع و شرایط جوی محاسبه کنند. الگوریتم‌های مانند A^* و Dijkstra از جمله تکنیک‌های معروف در این زمینه هستند [46].

ب. مسیریابی با استفاده از یادگیری ماشین

با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از مأموریت‌های قبلی، شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند الگوهای مؤثر برای مسیریابی و تصمیم‌گیری ایجاد کنند. این یادگیری می‌تواند به بهبود عملکرد در مأموریت‌های آینده کمک کند [47].

۴-۳-۷- مدیریت ترافیک دریایی و همکاری بین‌شناوری

الف. سیستم‌های همکاری و هماهنگی

شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند با یکدیگر و سایر شناورهای انسانی از طریق ارتباطات بی‌سیم و پروتکل‌های استاندارد دریایی مانند AIS هماهنگ شوند. این سیستم‌ها به کاهش خطرات ناشی از تداخل و برخورد کمک می‌کنند.

ب. تحلیل داده‌های ترافیک

استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته برای تحلیل داده‌های ترافیک دریایی می‌تواند به شناورهای سطحی بدون سرنشین کمک کند تا در زمان واقعی تصمیمات بهتری بگیرند و از ازدحام ترافیک جلوگیری کنند.

۵-۳-۷- سیستم‌های اتوماسیون و کنترل

الف. کنترل خودکار

سیستم‌های کنترل خودکار به شناورهای سطحی بدون سرنشین این امکان را می‌دهند که به‌طور خودکار مسیرهای از پیش تعیین شده را دنبال کنند و در صورت نیاز به سرعت به شرایط محیطی پاسخ دهند.

ب. سیستم‌های هوش مصنوعی

استفاده از هوش مصنوعی در کنترل و هدایت شناورهای سطحی بدون سرنشین به آن‌ها این امکان را می‌دهد که با یادگیری از تجربیات گذشته و تحلیل داده‌های جدید، تصمیمات هوشمندانه‌تری اتخاذ کنند [15-17].

۶-۳-۷- چالش‌ها و آینده سیستم‌های هدایت و ناوبری

تأمین دقت و قابلیت اطمینان در سیستم‌های ناوبری در شرایط دشوار (مانند طوفان یا امواج بالا) یکی از چالش‌های اصلی است. همچنین، وابستگی به سیگنال‌های GNSS در برخی مناطق می‌تواند محدودیت‌هایی ایجاد کند. با پیشرفت فناوری‌های حسگری، الگوریتم‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، انتظار می‌رود که سیستم‌های هدایت و ناوبری در شناورهای سطحی بدون سرنشین بهبود یابند و بتوانند به‌طور مستقل و مؤثرتری عمل کنند. همچنین، تلاش برای یکپارچه‌سازی این سیستم‌ها با سایر فناوری‌ها (مانند شبکه‌های بی‌سیم امن) می‌تواند به افزایش کارایی و ایمنی کمک کند. سیستم‌های پیشرفته هدایت و ناوبری در شناورهای سطحی بدون سرنشین نه تنها به افزایش ایمنی و کارایی عملیات کمک می‌کنند، بلکه امکان انجام مأموریت‌های پیچیده و خودمختار را فراهم می‌آورند. با پیشرفت فناوری و به‌کارگیری روش‌های نوین، این سیستم‌ها به‌طور مداوم در حال بهبود و توسعه هستند [47-49].

۷-۴-۷- پیشرفت در زمینه سیستم‌های ارتباطی و شبکه‌بندی

شبکه‌های بی‌سیم در شناورهای سطحی بدون سرنشین برای برقراری ارتباط با مراکز کنترل، سایر شناورها، و سیستم‌های حمایتی حیاتی هستند. این ارتباطات باید امنیت بالایی داشته باشند، زیرا عدم امنیت می‌تواند منجر به دسترسی غیرمجاز به داده‌های حساس، اختلال در عملیات، و حتی خسارت‌های مالی و جانی شود. [45] شبکه‌های ارتباطی بی‌سیم امن در حوزه شناورهای سطحی بدون سرنشین اهمیت زیادی دارند، زیرا این شناورها معمولاً در محیط‌های غیرقابل پیش‌بینی و گاهی در شرایط تهدیدآمیز عمل می‌کنند. در محیط‌های دریایی، شناورهای سطحی بدون سرنشین نیاز به برقراری ارتباطات بی‌سیم با سایر سیستم‌ها، مانند مراکز فرماندهی، دیگر شناورها، و پهپادها دارند [41]. این ارتباطات باید امن و مطمئن باشند تا از دسترسی غیرمجاز، اختلال در عملیات و جاسوسی جلوگیری شود. بنابراین، ایجاد شبکه‌های بی‌سیم امن برای حفاظت از اطلاعات و فرمان‌ها ضروری است. [44]

۷-۴-۸- پروتکل‌های امنیتی

برای تأمین امنیت در شبکه‌های بی‌سیم، استفاده از پروتکل‌های امنیتی مختلف بسیار اهمیت دارد. برخی از این پروتکل‌ها شامل موارد زیر است [31-36]:

WPA3: این پروتکل جدید برای شبکه‌های Wi-Fi بهبودهایی در رمزنگاری و احراز هویت ارائه می‌دهد. WPA3: جدیدترین پروتکل امنیتی Wi-Fi است که از رمزنگاری پیشرفته‌تری نسبت به نسخه‌های قبلی استفاده می‌کند. این پروتکل به ویژه در ارتباطات بی‌سیم که در شرایط مختلف مانند مناطق جنگی یا محیط‌های غیرقابل پیش‌بینی انجام می‌شود، امنیت بیشتری فراهم می‌آورد. TLS (Transport Layer Security) این پروتکل به تأمین ارتباطات امن در اینترنت کمک می‌کند و می‌تواند برای ارتباطات شناورهای سطحی بدون سرنشین مورد استفاده قرار گیرد. این پروتکل امنیتی برای رمزنگاری داده‌ها در حین انتقال به کار می‌رود. در شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توان از TLS برای تأمین ارتباطات میان شناورها و مراکز فرماندهی استفاده کرد. این پروتکل تضمین می‌کند که داده‌ها در حین انتقال توسط افراد غیرمجاز قابل دسترسی نباشند.

VPN (Virtual Private Network) شبکه‌های مجازی خصوصی می‌توانند ارتباطات را رمزنگاری کرده و به جلوگیری از دسترسی‌های غیرمجاز کمک کنند.

۷-۴-۲- فناوری‌های رمزنگاری

استفاده از تکنیک‌های رمزنگاری پیشرفته برای محافظت از داده‌ها و ارتباطات میان شناورهای سطحی بدون سرنشین و مراکز فرماندهی ضروری است. این تکنیک‌ها شامل:

رمزنگاری کلید عمومی و خصوصی: این روش‌ها می‌توانند برای تأمین اطلاعات در حین انتقال استفاده شوند و تنها افرادی که کلیدهای مناسب را دارند می‌توانند داده‌ها را رمزگشایی کنند.

امضای دیجیتال: این فناوری به تأیید اصالت داده‌ها و عدم تغییر آنها کمک می‌کند. امضای دیجیتال می‌تواند برای تأیید اصالت و یکپارچگی داده‌ها استفاده شود. با استفاده از این فناوری، اپراتورها می‌توانند از صحت اطلاعات ارسالی مطمئن شوند و از هرگونه تغییر یا جعل داده جلوگیری کنند.

۳-۴-۷- تشخیص نفوذ و امنیت سایبری

پیاده‌سازی سیستم‌های تشخیص نفوذ (IDS) و پیشگیری از نفوذ (IPS) می‌تواند به شناسایی فعالیت‌های مشکوک و جلوگیری از حملات سایبری کمک کند. این سیستم‌ها به طور مداوم شبکه را نظارت می‌کنند و در صورت شناسایی الگوهای غیرعادی، هشدار می‌دهند یا اقداماتی برای حفاظت از شبکه انجام می‌دهند. [34]

الف. سیستم‌های تشخیص نفوذ (IDS)

این سیستم‌ها به طور مداوم شبکه را نظارت می‌کنند و در صورت شناسایی رفتارهای غیرعادی یا تهدیدات سایبری، هشدار می‌دهند. این کار به اپراتورها کمک می‌کند تا به سرعت واکنش نشان دهند و اقدامات لازم را انجام دهند.

ب. سیستم‌های پیشگیری از نفوذ (IPS)

این سیستم‌ها نه تنها تهدیدات را شناسایی می‌کنند بلکه می‌توانند به طور خودکار اقداماتی برای جلوگیری از حملات انجام دهند. برای مثال، اگر یک تلاش برای نفوذ به شبکه شناسایی شود، IPS می‌تواند دسترسی آن کاربر را به طور خودکار مسدود کند.

۴-۴-۷- مدیریت هویت و دسترسی

مدیریت هویت و دسترسی به منابع شبکه از دیگر جنبه‌های کلیدی امنیت است. سیستم‌های احراز هویت قوی باید به کار گرفته شوند تا فقط افراد و سیستم‌های معتبر بتوانند به شبکه دسترسی پیدا کنند. این می‌تواند شامل روش‌های چندعاملی باشد که استفاده از چندین روش احراز هویت را برای افزایش امنیت می‌طلبد. استفاده از روش‌های چندعاملی برای احراز هویت کاربران می‌تواند به افزایش امنیت کمک کند. این روش شامل استفاده از ترکیبی از رمز عبور، پیامک، و بیومتریک‌ها (مانند اثر انگشت یا شناسایی چهره) است.

۵-۴-۷- گروه‌بندی و جداسازی شبکه

ایجاد زیرشبکه‌های مجزا برای انواع مختلف داده‌ها و عملیات‌ها می‌تواند به کاهش ریسک نفوذ کمک کند. به عنوان مثال، داده‌های حسگرها، فرمان‌ها، و اطلاعات وضعیت باید در شبکه‌های مختلف جداسازی شوند تا در صورت نفوذ، تأثیرات به حداقل برسد.

الف. زیرشبکه‌های مجزا

ایجاد زیرشبکه‌های مختلف برای انواع مختلف داده‌ها و عملیات‌ها می‌تواند به کاهش خطرات کمک کند. مثلاً داده‌های حساس باید در شبکه‌ای جدا از داده‌های عمومی قرار گیرند.

ب. فایروال‌های داخلی

استفاده از فایروال‌ها برای نظارت و کنترل ترافیک شبکه‌های مختلف می‌تواند به حفاظت از داده‌ها و جلوگیری از نفوذ کمک کند.

۶-۴-۷- توسعه و به‌روزرسانی مداوم

با توجه به پیشرفت‌های روزافزون در تکنیک‌های حمله سایبری، به‌روزرسانی مداوم پروتکل‌ها و فناوری‌های امنیتی امری ضروری است. این شامل به‌روزرسانی نرم‌افزارهای مورد استفاده، پیچ‌های امنیتی، و ارزیابی‌های دوره‌ای از خطرات موجود در شبکه است.

۷-۴-۷- آموزش و آگاهی اپراتورها

آموزش و آگاهی اپراتورهای انسانی درباره خطرات امنیتی و بهترین شیوه‌ها برای استفاده از شبکه‌های بی‌سیم نیز اهمیت دارد. آگاهی از حملات اجتماعی و روش‌های محافظت می‌تواند به کاهش ریسک‌های امنیتی کمک کند.

الف. آموزش مداوم

اپراتورهای داده‌های شناورهای سطحی بدون سرنشین باید به‌طور مداوم در مورد تهدیدات سایبری و بهترین شیوه‌ها برای حفاظت از شبکه‌های بی‌سیم آموزش ببینند. این آموزش می‌تواند شامل شناسایی حملات اجتماعی، محافظت از اطلاعات شخصی و استفاده صحیح از ابزارهای امنیتی باشد.

ب. برگزاری کارگاه‌ها و سمینارها

برگزاری کارگاه‌های آموزشی و سمینارها می‌تواند به افزایش آگاهی و مهارت‌های اپراتورها در زمینه امنیت سایبری کمک کند.

۸-۴-۷- پروتکل‌های تبادل داده

استفاده از پروتکل‌های ایمن برای تبادل داده میان USV ها و سایر پلتفرم‌ها می‌تواند به تأمین امنیت کمک کند. به عنوان مثال، استفاده از پروتکل‌هایی مانند MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) با امنیت مناسب برای تبادل داده‌های کوچک در شبکه‌های IoT.

الف MQTT.

MQTT یک پروتکل سبک و امن برای تبادل داده‌ها در شبکه‌های IoT است. این پروتکل به‌ویژه در شرایطی که محدودیت‌های ارتباطی وجود دارد، مفید است.

ب CoAP.

پروتکل CoAP (Constrained Application Protocol) نیز برای ارتباطات در شبکه‌های محدود طراحی شده و می‌تواند به عنوان یک راهکار امن برای تبادل داده‌های شناورهای سطحی بدون سرنشین مورد استفاده قرار گیرد.

۹-۴-۷- استفاده از شبکه‌های تعریف شده توسط نرم‌افزار (SDN)

استفاده از شبکه‌های تعریف شده توسط نرم‌افزار می‌تواند به مدیریت بهتر ترافیک و امنیت در شبکه‌های بی‌سیم کمک کند. این فناوری اجازه می‌دهد که کنترل ترافیک و تنظیمات امنیتی به طور متمرکز انجام شود، که باعث افزایش پاسخگویی و بهبود امنیت می‌شود.

الف. مدیریت متمرکز

به SDN به مدیریت متمرکز ترافیک و تنظیمات امنیتی شبکه‌ها اجازه می‌دهد. این فناوری می‌تواند به اپراتورها کمک کند تا به راحتی قوانین امنیتی را به روزرسانی و ترافیک را کنترل کنند.

ب. انعطاف‌پذیری و پاسخگویی

به SDN به اپراتورها این امکان را می‌دهد که در صورت شناسایی تهدیدات، به سرعت واکنش نشان دهند و تنظیمات امنیتی را در زمان واقعی تغییر دهند.

شبکه‌های ارتباطی بی‌سیم امن در شناورهای سطحی بدون سرنشین نه تنها به حفاظت از داده‌ها و اطلاعات کمک می‌کنند، بلکه به افزایش کارایی و ایمنی عملیات نیز می‌افزایند. با توجه به تهدیدات روزافزون سایبری، به کارگیری فناوری‌ها و استراتژی‌های مناسب برای تأمین امنیت این شبکه‌ها امری ضروری است [52]. این نکات نشان‌دهنده اهمیت شبکه‌های ارتباطی بی‌سیم امن در عملیات شناورهای سطحی بدون سرنشین است و به وضوح نشان می‌دهد که با پیاده‌سازی استراتژی‌ها و فناوری‌های مناسب، می‌توان از امنیت اطلاعات و عملیات در این سیستم‌های پیشرفته اطمینان حاصل کرد [53].

۵-۷- سیستم‌های سنسور و حسگر پیشرفته

دستاوردها: شناورهای سطحی بدون سرنشین به طیف گسترده‌ای از سنسورها برای انجام ماموریت‌های مختلف مجهز هستند. این سنسورها شامل رادارها، لیدارها، دوربین‌های تصویربرداری حرارتی و مرئی، و سیستم‌های صوتی برای شناسایی زیردریایی‌ها و موانع دریایی می‌شوند [54]. این فناوری‌ها به شناورهای سطحی بدون سرنشین کمک می‌کنند تا در شرایط جوی و محیطی دشوار عمل کنند.

• رادارهای موج کوتاه : برای شناسایی موانع و دیگر شناورها در نزدیکی.

• لیدار : برای ایجاد مدل‌های دقیق سه‌بعدی از محیط و اجتناب از برخورد.

• حسگرهای تصویربرداری: برای جمع‌آوری داده‌های تصویری در شرایط نوری مختلف، مانند دوربین‌های مادون قرمز برای شب و مه.

۶-۷- مواد پیشرفته و سبک‌وزن

دستاوردها: استفاده از مواد پیشرفته و سبک مانند کامپوزیت‌های فیبر کربن و آلیاژهای سبک برای ساخت بدنه و سازه‌های داخلی شناورها باعث کاهش وزن و افزایش کارایی می‌شود. این مواد همچنین مقاومت در برابر خوردگی را افزایش می‌دهند و برای استفاده طولانی‌مدت در محیط‌های دریایی مناسب هستند.

• فیبر کربن: به دلیل استحکام بالا و وزن کم، فیبر کربن به عنوان ماده اصلی برای ساخت بدنه بسیاری از شناورهای سطحی بدون سرنشین استفاده می‌شود.

• پلیمرهای مقاوم به خوردگی: استفاده از پلیمرهای مقاوم در برابر اشعه UV و نمک برای قطعات خارجی شناورها.

۱-۶-۷- مقاومت در برابر شرایط سخت

شناورهای سطحی بدون سرنشین مدرن برای مقابله با شرایط محیطی دشوار مانند دریا‌های طوفانی و دماهای شدید طراحی شده‌اند. مواد مقاوم در برابر خوردگی که در ساختار آنها استفاده می‌شود، این وسایل را قادر می‌سازد تا به طور مؤثر در محیط‌های دریایی چالش‌برانگیز عمل کنند. [9] شناورهای سطحی بدون سرنشین به طور خاص

دستاوردها: فناوری‌های پیشرفته هیبریدی و استفاده از سوخت‌های جایگزین، مانند هیدروژن و سلول‌های سوختی، نقش مهمی در کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌گی دارند. این سیستم‌ها همچنین به افزایش برد و دوام عملیات‌های دریایی کمک می‌کنند.

- پیشرفته‌های هیبریدی الکتریکی-دیزلی: ترکیب موتورهای الکتریکی و دیزلی برای کاهش مصرف سوخت و افزایش کارایی.

- سلول‌های سوختی هیدروژنی: استفاده از هیدروژن به عنوان یک سوخت پاک و جایگزین برای دیزل‌های سنگین.

۷-۸- پلتفرم‌های نرم‌افزاری و سیستم‌های کنترل پیشرفته

دستاوردها: نرم‌افزارهای پیشرفته کنترل و مدیریت عملیات شناورهای سطحی بدون سرنشین امکان کنترل دقیق و بهینه شناورها را از راه دور فراهم می‌کنند. این سیستم‌ها از الگوریتم‌های پیشرفته برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و تصمیم‌گیری‌های بهینه استفاده می‌کنند [55].

- سیستم‌های مدیریت مأموریت^۱: نرم‌افزارهای پیچیده‌ای که تمامی جنبه‌های یک مأموریت از جمله ناوبری، شناسایی، و تصمیم‌گیری را مدیریت می‌کنند.

- رابط‌های انسان-ماشین^۲: برای فراهم آوردن کنترل و نظارت دقیق‌تر از سوی اپراتورهای انسانی.

۷-۹- فناوری‌های انرژی پایدار

دستاوردها: برای افزایش پایداری عملیات‌های شناورهای سطحی بدون سرنشین فناوری‌های نوین انرژی مانند سلول‌های خورشیدی و باتری‌های لیتیوم-یون با کارایی بالا در توسعه این شناورها به کار می‌روند. این فناوری‌ها امکان انجام مأموریت‌های طولانی‌مدت را با کمترین نیاز به سوخت‌گیری مجدد فراهم می‌کنند.

- شناورهای خورشیدی (Solar-Powered): شناورهای سطحی بدون سرنشین؛ مانند "Saildrone" که از انرژی خورشیدی برای شارژ باتری‌ها و تامین انرژی استفاده می‌کند.

برای مواجهه با شرایط محیطی دشوار طراحی شده‌اند تا بتوانند به طور مؤثر در محیط‌های دریایی چالش‌برانگیز عمل کنند. برخی از ویژگی‌های کلیدی این بهبودها شامل موارد زیر است [10]:

۷-۶-۲- مقاومت در برابر دریاهای طوفانی

شناورهای سطحی بدون سرنشین برای عملیات در دریاهای طوفانی و شرایط جوی نامساعد با طراحی‌هایی که قادر به مقابله با امواج بزرگ و نیروهای ناشی از بادهای شدید هستند، مجهز می‌شوند. طراحی‌های خاص بدنه و سیستم‌های تعلیق باعث می‌شوند که این وسایل بتوانند به طور پایدار و امن در شرایط بحرانی حرکت کنند.

۷-۶-۳- مقاومت در برابر دماهای شدید

شناورهای سطحی بدون سرنشین برای کار در دماهای بسیار پایین یا بالا، به ویژه در مناطق قطبی یا مناطق گرمسیری، با استفاده از مواد مقاوم در برابر حرارت و سرما طراحی می‌شوند. این مواد به کاهش اثرات منفی دماهای شدید بر روی عملکرد و طول عمر شناورهای سطحی بدون سرنشین کمک می‌کنند.

۷-۶-۴- استفاده از مواد مقاوم در برابر خوردگی

ساختار شناورهای سطحی بدون سرنشین از مواد مقاوم در برابر خوردگی مانند آلومینیوم آنادایز شده، فولاد ضد زنگ، و پلیمرهای مقاوم در برابر آب شور استفاده می‌کند. این ویژگی‌ها باعث می‌شوند که شناورهای سطحی بدون سرنشین در معرض آب شور و شرایط خورنده محیط دریایی دچار آسیب نشوند و عمر مفید آنها افزایش یابد. این بهبودها در دوام و استحکام به شناورهای سطحی بدون سرنشین این امکان را می‌دهد که در محیط‌های دریایی سخت و چالش‌برانگیز به طور مؤثر عمل کنند. همچنین، کاهش نیاز به تعمیر و نگهداری مکرر و افزایش قابلیت اطمینان آنها در شرایط بحرانی به کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش بهره‌وری کمک می‌کند. با این ویژگی‌ها، شناورهای سطحی بدون سرنشین قادرند به طور مداوم و بدون وقفه در محیط‌های دشوار به جمع‌آوری داده‌ها، انجام بازرسی‌ها، و اجرای مأموریت‌ها بپردازند.

۷-۷- سیستم‌های پیشرفته هیبریدی و پایدار

² Human-Machine Interfaces, HMIs

¹ Mission Management Systems

• باتری‌های لیتیوم-یون پیشرفته: با تراکم انرژی بالا برای افزایش زمان عملیات و کاهش نیاز به شارژ مکرر.

۷-۱۰-کوچک‌سازی و توسعه شناورهای سطحی بدون

سرنشین‌های تخصصی

۷-۱۰-۱- سنسورهای تخصصی

با پیشرفت در تکنولوژی کوچک‌سازی، شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند با سنسورهای ویژه برای انجام وظایف خاص مانند بررسی زیرآب، بازرسی خطوط لوله و کاوش‌های عمیق در دریا تجهیز شوند [2]. این تخصصی‌سازی باعث افزایش کارایی و انعطاف‌پذیری این وسایل در انجام مأموریت‌های خاص می‌شود. پیشرفت در تکنولوژی کوچک‌سازی و حسگرها باعث شده است که وسایل نقلیه سطحی بدون سرنشین بتوانند با تجهیزات و سنسورهای پیشرفته‌ای تجهیز شوند که برای انجام وظایف خاص طراحی شده‌اند [4]. این سنسورها به شناورهای سطحی بدون سرنشین این امکان را می‌دهند که در انواع مختلفی از مأموریت‌ها عمل کنند [10]:

• **بررسی زیرآب:** شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند با استفاده از سنسورهای پیشرفته مانند سونارهای چند پرتو، تصاویربرداری با وضوح بالا و سنسورهای تصویربرداری حرارتی به بررسی زیرآب بپردازند. این ابزارها به آنها کمک می‌کند تا به طور دقیق نقشه‌های سه‌بعدی از بستر دریا تهیه کرده و ویژگی‌های زیرآب را بررسی کنند.

• **بازرسی خطوط لوله:** شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند به سنسورهایی مانند دوربین‌های با وضوح بالا و سیستم‌های سونار مجهز شوند که به آنها این امکان را می‌دهد تا خطوط لوله زیر آب را به دقت بازرسی کرده و از سلامت و عملکرد صحیح آنها اطمینان حاصل کنند. این بازرسی به جلوگیری از نشت‌ها و خرابی‌ها کمک می‌کند.

• **کاوش‌های عمیق در دریا:** برای کاوش‌های عمیق در دریا، شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند با تجهیزاتی مانند سیستم‌های تصویربرداری و سنسورهای فشار بالا تجهیز شوند که به آنها امکان جمع‌آوری داده‌های دقیق از عمق‌های زیاد را می‌دهد. این تجهیزات می‌توانند

به مطالعه ویژگی‌های جغرافیایی و زیستی در عمق‌های مختلف دریا کمک کنند.

این تخصصی‌سازی باعث افزایش کارایی و انعطاف‌پذیری شناورهای سطحی بدون سرنشین در انجام مأموریت‌های خاص می‌شود. به عنوان مثال، با استفاده از این سنسورها، شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند به طور دقیق و کارآمد به جمع‌آوری داده‌های تخصصی بپردازند و به مأموریت‌های تحقیقاتی و بازرسی پاسخ دهند که در گذشته تنها با استفاده از تجهیزات پیچیده و هزینه‌بر امکان‌پذیر بود. در نتیجه، کوچک‌سازی و توسعه سنسورهای تخصصی به شناورهای سطحی بدون سرنشین این امکان را می‌دهد که نقش‌های متنوع‌تری را در زمینه‌های مختلف مانند تحقیق، نظارت و بازرسی به عهده بگیرند و به عنوان ابزارهای کلیدی در عملیات‌های دریایی و زیرآبی مطرح شوند.

۷-۱۱- پیشرفت در فناوری‌های تصویربرداری و پردازش

داده

۷-۱۱-۱- نقشه‌برداری زیرآبی

سیستم‌های سونار چند پرتو و تکنیک‌های تصویربرداری پیشرفته به شناورهای سطحی بدون سرنشین این امکان را می‌دهند که نقشه‌های سه‌بعدی دقیقی از بستر دریا تولید کنند [56]. این داده‌ها در کاربردهایی مانند بررسی‌های هیدروگرافیک، بازرسی زیرساخت‌های زیرآبی و کاوش‌های باستان‌شناسی زیرآبی بسیار مفید هستند. پیشرفت در فناوری‌های تصویربرداری و پردازش داده، توانایی‌های شناورهای سطحی بدون سرنشین (وسایل نقلیه سطحی بدون سرنشین) را در زمینه نقشه‌برداری زیرآبی به طرز چشمگیری افزایش داده است. برخی از این پیشرفت‌ها شامل موارد زیر است [57]:

۷-۱۱-۲- سیستم‌های سونار چند پرتو

این سیستم‌ها به شناورهای سطحی بدون سرنشین این امکان را می‌دهند که امواج صوتی را در چندین جهت منتشر کرده و بازتاب‌های آنها را جمع‌آوری کنند. با تحلیل این داده‌ها، شناورهای سطحی بدون سرنشین قادرند نقشه‌های سه‌بعدی بسیار دقیقی از بستر دریا تولید کنند [58-59]. این نقشه‌ها برای شبیه‌سازی بستر دریا،

شناسایی تغییرات ژئومورفولوژی و بررسی ویژگی‌های زیرآبی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۷-۱۱-۳- تکنیک‌های تصویربرداری پیشرفته

استفاده از تکنیک‌های تصویربرداری پیشرفته مانند دوربین‌های با وضوح بالا و تصویربرداری حرارتی به شناورهای سطحی بدون سرنشین این امکان را می‌دهد که تصاویر با کیفیت بالا از زیرآب تهیه کنند. این تصاویر می‌توانند برای بررسی زیرساخت‌های زیرآبی، شناسایی اشیاء و کاوش‌های باستان‌شناسی زیرآبی به کار روند.

۷-۱۱-۴- پردازش داده‌های پیشرفته

الگوریتم‌های پردازش داده‌های پیچیده و نرم‌افزارهای تحلیل داده به شناورهای سطحی بدون سرنشین این امکان را می‌دهند که داده‌های جمع‌آوری شده را به صورت دقیق و سریع تحلیل کنند. این پردازش‌ها شامل تحلیل تصاویر، شبیه‌سازی‌های سه‌بعدی، و استخراج ویژگی‌های زیرآبی است که به تصمیم‌گیری‌های دقیق‌تر و بررسی‌های جامع‌تر کمک می‌کند [60].

این فناوری‌ها به شناورهای سطحی بدون سرنشین این امکان را می‌دهند که در زمینه‌های مختلفی مانند بررسی‌های هیدروگرافیک، بازرسی زیرساخت‌های زیرآبی و کاوش‌های باستان‌شناسی زیرآبی به طور مؤثر عمل کنند. به طور خاص، در بررسی‌های هیدروگرافیک، نقشه‌های دقیق بستر دریا به ارزیابی وضعیت زیستگاه‌های دریایی و طراحی پروژه‌های مهندسی دریایی کمک می‌کند. در بازرسی زیرساخت‌های زیرآبی، تصاویر با کیفیت بالا به شناسایی آسیب‌ها و نیازهای تعمیر و نگهداری کمک می‌کند. همچنین، در کاوش‌های باستان‌شناسی، داده‌های دقیق از بستر دریا به شناسایی و حفاظت از آثار باستانی کمک می‌کند.

پیشرفت در این فناوری‌ها باعث شده است که شناورهای سطحی بدون سرنشین به ابزارهای قدرتمندی برای تحقیقات و عملیات‌های زیرآبی تبدیل شوند و توانایی‌های آنها در جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها به طور قابل توجهی افزایش یابد.

۷-۱۲- تأثیرات در تحقیق اقیانوس‌شناسی و عملیات‌های دریایی

۷-۱۲-۱- جمع‌آوری داده‌های اقیانوس‌شناسی

شناورهای سطحی بدون سرنشین قادر به جمع‌آوری داده‌های وسیع از پارامترهای مختلف اقیانوسی مانند دما، شوری، جریان‌ها و سطح اکسیژن محلول هستند [2]. این توانایی به دانشمندان این امکان را می‌دهد که درک عمیق‌تری از فرآیندها و پدیده‌های اقیانوسی به دست آورند. شناورهای سطحی بدون سرنشین با توانایی‌های پیشرفته خود در جمع‌آوری داده‌های اقیانوس‌شناسی، نقش مهمی در تحقیق و مطالعه اقیانوس‌ها و محیط‌های دریایی ایفا می‌کنند. این تأثیرات شامل موارد زیر است [4-6]:

۷-۱۲-۲- جمع‌آوری داده‌های وسیع

شناورهای سطحی بدون سرنشین قادرند داده‌های جامعی از پارامترهای مختلف اقیانوسی را جمع‌آوری کنند. این پارامترها شامل دما، شوری، جریان‌ها و سطح اکسیژن محلول در آب هستند. سنسورهای پیشرفته‌ای که در شناورهای سطحی بدون سرنشین استفاده می‌شود، امکان اندازه‌گیری دقیق این پارامترها را فراهم می‌کنند و به جمع‌آوری اطلاعاتی می‌پردازند که به بررسی تغییرات و روندهای اقیانوسی کمک می‌کند.

۷-۱۲-۳- درک عمیق‌تر از فرآیندهای اقیانوسی

با تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده توسط شناورهای سطحی بدون سرنشین دانشمندان می‌توانند درک عمیق‌تری از فرآیندها و پدیده‌های اقیانوسی به دست آورند. این اطلاعات می‌توانند شامل نحوه تغییرات دما و شوری در عمق‌های مختلف، جریان‌های اقیانوسی، و نحوه تأثیر این تغییرات بر زیستگاه‌های دریایی و اکوسیستم‌ها باشند.

۷-۱۲-۴- مطالعه دینامیک‌های اقیانوسی

داده‌های جمع‌آوری شده به محققان این امکان را می‌دهند که دینامیک‌های پیچیده اقیانوسی را مطالعه کنند، از جمله نحوه توزیع و حرکت آب‌های گرم و سرد، جریان‌های اقیانوسی و تأثیرات تغییرات اقلیمی بر این پدیده‌ها.

۷-۱۲-۵- پیش‌بینی و مدل‌سازی

داده‌های اقیانوس‌شناسی که از طریق شناورهای سطحی بدون سرنشین جمع‌آوری می‌شود، می‌تواند برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات اقیانوسی و شرایط

محیطی مورد استفاده قرار گیرد. این مدل‌ها به محققان و تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کنند تا اثرات تغییرات اقلیمی، آلودگی‌ها و سایر عوامل محیطی را پیش‌بینی کنند و استراتژی‌های مدیریت منابع دریایی را بهینه‌سازی کنند.

۶-۱۲-۷ پژوهش‌های زیست‌محیطی

جمع‌آوری داده‌های اقیانوس‌شناسی از طریق شناورهای سطحی بدون سرنشین به پژوهش‌های زیست‌محیطی کمک می‌کند. اطلاعات به‌دست‌آمده می‌تواند برای مطالعه تأثیرات تغییرات محیطی بر روی گونه‌های دریایی و زیستگاه‌های آنها استفاده شود و به فهم بهتر و حفاظت از اکوسیستم‌های دریایی کمک کند.

با توجه به پیشرفت‌های تکنولوژیکی در زمینه شناورهای سطحی بدون سرنشین و توانایی‌های آنها در جمع‌آوری داده‌های دقیق و گسترده، این وسایل به ابزارهای قدرتمندی برای تحقیقات اقیانوس‌شناسی و عملیات‌های دریایی تبدیل شده‌اند و به افزایش دانش و درک ما از محیط‌های دریایی و فرآیندهای اقیانوسی کمک می‌کنند.

۸. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

شناورهای سطحی بدون سرنشین در سال‌های اخیر پیشرفت‌های چشمگیری داشته‌اند که به انقلابی در عملیات دریایی منجر شده است. این تحولات باعث شده‌اند که شناورهای سطحی بدون سرنشین در دامنه وسیعی از کاربردها موفق عمل کنند. علاوه بر این، شناورهای سطحی بدون سرنشین در زمینه امنیت و نظارت نیز کاربرد دارند و روش کارآمد و مقرون‌به‌صرفه‌ای برای گشت‌زنی در آب‌های سرزمینی و حفاظت از تأسیسات دریایی ارائه می‌دهند. پیشرفت‌های فناوری در شناورهای سطحی بدون سرنشین قابلیت‌های آنها را گسترش داده و آنها را به ابزارهای ضروری در زمینه‌های مختلف دریایی تبدیل کرده است.

پیشرفت‌های شناورهای سطحی بدون سرنشین به نوآوری‌های فناوری قابل توجهی نسبت داده می‌شود. سیستم‌های ناوبری خودمختار به طور قابل توجهی توانایی شناورهای سطحی بدون سرنشین را برای عملیات مستقل بهبود بخشیده و به آنها این امکان را داده‌اند که به طور مؤثر در محیط‌های پیچیده حرکت کرده و از موانع اجتناب کنند. همچنین، پیشرفت‌ها در ادغام حسگرها توانایی

شناورهای سطحی بدون سرنشین را برای جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها به صورت بلادرنگ بهبود بخشیده است، به طوری که قادر به تشخیص و نظارت بر پارامترهای محیطی، حیات دریایی و تهدیدات بالقوه هستند. ادغام سیستم‌های ارتباطی پیشرفته نیز اتصال و هماهنگی بین شناورهای سطحی بدون سرنشین و اپراتورهای از راه دور را تقویت کرده و کنترل و تبادل اطلاعات بی‌وقفه را امکان‌پذیر کرده است.

با وجود پیشرفت‌های چشمگیر، چالش‌ها و محدودیت‌هایی در زمینه شناورهای سطحی بدون سرنشین همچنان وجود دارد. چارچوب‌های نظارتی حاکم بر عملیات سیستم‌های بدون سرنشین در محیط‌های دریایی هنوز در حال تکامل است و نیاز به تعیین راهنماها و استانداردهای روشن دارد. نگرانی‌های امنیت سایبری نیز چالشی دیگر به شمار می‌آید، زیرا شناورهای سطحی بدون سرنشین در معرض حملات سایبری بالقوه‌ای هستند که می‌تواند عملیات و یکپارچگی داده‌های آنها را به خطر بیندازد. علاوه بر این، با اینکه شناورهای سطحی بدون سرنشین قابلیت‌های قابل توجهی را به نمایش گذاشته‌اند، در عملیات‌های دوربرد، استقامت و مقاومت در شرایط آب و هوایی شدید با محدودیت‌هایی مواجه هستند. رسیدگی به این چالش‌ها و پیشبرد مرزهای فناوری شناورهای سطحی بدون سرنشین همچنان نقطه تمرکز اصلی محققان و مهندسان است تا پتانسیل کامل این وسایل نقلیه سطحی خودمختار را کشف کنند.

استفاده از شناورهای سطحی بدون سرنشین مزایای زیادی را برای صنایع و سازمان‌ها به همراه دارد. با کاهش هزینه‌های پرسنلی، شناورهای سطحی بدون سرنشین به افزایش کارایی عملیاتی و قابلیت اقتصادی کمک می‌کنند. علاوه بر این، استفاده از شناورهای سطحی بدون سرنشین ایمنی پرسنل را با کاهش قرارگیری آنها در محیط‌های خطرناک تضمین می‌کند. توانایی شناورهای سطحی بدون سرنشین در پوشش مناطق وسیع‌تر و جمع‌آوری داده‌های گسترده به نظارت و ارزیابی جامع‌تر کمک می‌کند و به فرآیندهای تصمیم‌گیری بهتر منجر می‌شود. همچنین، عملیات دوستدار محیط زیست آنها تأثیرات اکولوژیکی را

کاهش داده و آن‌ها را به راه‌حلی پایدار برای فعالیت‌های دریایی تبدیل می‌کند.

شناورهای سطحی بدون سرنشین پیشرفت‌های قابل توجهی را تجربه کرده‌اند و صنعت دریایی را متحول کرده‌اند. این وسایل نقلیه خودمختار کاربردهای متعددی از جمله نظارت محیطی، تحقیقات دریایی، امنیت و نظارت، عملیات‌های دریایی و لجستیک ارائه می‌دهند. توسعه شناورهای سطحی بدون سرنشین روش انجام وظایف در دریا را انقلابی کرده و کارایی، ایمنی و مقرون به صرفه بودن را بهبود بخشیده است.

نوآوری‌های فناوری نقش مهمی در توسعه شناورهای سطحی بدون سرنشین داشته‌اند. یکی از زمینه‌های کلیدی پیشرفت، سیستم‌های ناوبری خودمختار است. شناورهای سطحی بدون سرنشین اکنون با حسگرهای پیشرفته، GPS و فناوری نقشه‌برداری مجهز شده‌اند که به آن‌ها امکان می‌دهد به صورت خودمختار حرکت کنند، از موانع اجتناب کنند و مسیرهای از پیش تعیین شده را دنبال کنند. این قابلیت، تنوع آن‌ها را افزایش داده و امکان عملیات در محیط‌های دریایی پیچیده و پویا را فراهم کرده است.

ادغام حسگرها نیز یکی از پیشرفت‌های قابل توجه در فناوری شناورهای سطحی بدون سرنشین است. شناورهای سطحی بدون سرنشین اکنون شامل مجموعه وسیعی از حسگرها از جمله سونار، LiDAR، دوربین‌ها و حسگرهای محیطی هستند که به آن‌ها این امکان را می‌دهد که حجم زیادی از داده‌ها را جمع‌آوری کنند. این داده‌ها می‌توانند برای نظارت محیطی، مدیریت منابع دریایی و تحقیقات علمی استفاده شوند و بینش‌های ارزشمندی در مورد سلامت اقیانوس، حیات دریایی و دینامیک اکوسیستم ارائه دهند.

سیستم‌های ارتباطی نیز در شناورهای سطحی بدون سرنشین پیشرفت‌های قابل توجهی را تجربه کرده‌اند. این وسایل نقلیه اکنون می‌توانند ارتباطات قوی و قابل اعتمادی برقرار کنند که به آن‌ها امکان تعامل با سایر شناورهای سطحی بدون سرنشین، کشتی‌های دارای سرنشین و اپراتورهای ساحلی را می‌دهد. این اتصال بی‌وقفه توانایی‌های همکاری آن‌ها را افزایش داده و تبادل داده‌های

بلادرنگ را تسهیل می‌کند و نظارت و کنترل از راه دور را ممکن می‌سازد.

کارایی انرژی نیز یکی از تمرکزهای توسعه در شناورهای سطحی بدون سرنشین بوده است. سیستم‌های محرکه سنتی جایگزین یا تکمیل شده‌اند با سیستم‌های الکتریکی یا هیبریدی که مصرف سوخت و انتشار آلاینده‌ها را کاهش می‌دهند. علاوه بر این، پیشرفت‌های فناوری باتری استقامت شناورهای سطحی بدون سرنشین را افزایش داده و به آن‌ها این امکان را داده است که برای مدت زمان طولانی‌تری بدون مداخله انسانی عمل کنند.

استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته و هوش مصنوعی به طور قابل توجهی توانایی تصمیم‌گیری شناورهای سطحی بدون سرنشین را بهبود بخشیده است. الگوریتم‌های یادگیری ماشین به شناورهای سطحی بدون سرنشین این امکان را می‌دهند که داده‌ها را تحلیل کرده، الگوها را شناسایی کرده و تصمیمات آگاهانه‌ای به صورت بلادرنگ بگیرند. این سطح از خودمختاری، توانایی آن‌ها را در سازگاری با شرایط محیطی در حال تغییر و انجام مأموریت‌های پیچیده با حداقل مداخله انسانی بهبود می‌بخشد.

خودمختاری همکاری نیز یک توسعه هیجان‌انگیز در شناورهای سطحی بدون سرنشین است. با استفاده از رباتیک گروهی و سیستم‌های کنترل توزیع شده، چندین شناورهای سطحی بدون سرنشین می‌توانند با هم کار کنند تا وظایفی را که برای یک کشتی واحد چالش‌برانگیز یا غیرممکن است، به انجام برسانند. این رویکرد همکاری، کارایی را افزایش داده و امکان جمع‌آوری داده یا نظارت همزمان در یک منطقه وسیع‌تر را فراهم می‌آورد.

شناورهای سطحی بدون سرنشین (شناورهای سطحی بدون سرنشین) به دلیل قابلیت‌های فراوان خود در طیف گسترده‌ای از مأموریت‌ها و کاربردها، به سرعت در حال توسعه و استفاده در سراسر جهان هستند. با این حال، موفقیت عملیات این شناورها وابسته به تعدادی از فناوری‌های پیشرفته و همچنین مقابله با چالش‌های متعدد است.

شناورهای سطحی بدون سرنشین نقش مهمی در آینده عملیات‌های دریایی ایفا می‌کنند و توانایی‌های آن‌ها

- [11]- Sun Xiaojie, Wang Guofeng, Fan Yunsheng (2021) Collision avoidance guidance and control scheme for vector propulsion unmanned surface vehicle with disturbance. *Applied Ocean Research* 115. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2021.102799>
- [12]- Vasudevan Shriram K, Baskaran Balraj (2021) An improved realtime water quality monitoring embedded system with IoT on unmanned surface vehicle. *Ecological Informatics* 65. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101421>.
- [13]-Gong Ruiliang, Ji Yuguan (2016) Intelligent ship technology and unmanned navigation technology[J]. *Ship & Boat* 27(05): 82–87. <https://doi.org/10.19423/j.cnki.31-1561/u.2016.05.082>
- [14]- Ye Qiang (2017) Research on intelligent ship technology and unmanned technology. *Shandong Industrial Technology* (15): 106. <https://doi.org/10.16640/j.cnki.37-1222/t2017.15.098>
- [15]- Yang Yi (2020) Information fusion of an unmanned surface vehicle integrated navigation system. *Dalian Maritime University* <https://doi.org/10.26989/dxnki.gdlhu.2020.00038>
- [16]- Yang Baicheng, Zhao Zhilei (2018) Multi-ship encounter collision avoidance decisions based on improved simulated annealing algorithm. *Journal of Dalian Maritime University* 44(02): 22–26. <https://doi.org/10.16411/j.cnki.issn1006-7736.2018.02.004>
- [17]- Yan N, Huang S, Kong C (2021) Reinforcement Learning-Based Autonomous Navigation and Obstacle Avoidance for USVs under Partially Observable Conditions. *Hindawi*. <https://doi.org/10.1155/2021/5519033>
- [18]-Li Jiqiang, Zhang Guoqing, Li Bo (2022) Robust Adaptive Neural Cooperative Control for the USV-UAV Based on the LVS-LVA Guidance Principle. *Journal of Marine Science and Engineering*. <https://doi.org/10.3390/jmse10010051>
- [19]- Xu Xiaofeng, Xiao Yingjie, Zhang Xuelai (2021) A Review on Optimization of Unmanned Ship Path Based on Collision Avoidance Rules. *Journal of Transport Information and Safety* 39(02): 1–8. <https://doi.org/10.3963/j.jssn.1674-4861.2021.02.001>
- [20]- Wang Yuanyuan, Liu Jialun, Ma Feng, Wang Xingping, Yan Xinping (2021b) Review and prospect of remote control intelligent ships. *Chinese Journal of Ship Research* 16(1): 18–31. <https://doi.org/10.19693/j.issn.16733185.01939>
- [21]-Lin H, Sun S (2016) Optimal estimator for a class of non-uniform sampling systems with missing measurements. 2016 35th Chinese Control Conference (CCC). <https://doi.org/10.1109/ChiCC.2016.7553675>
- [22]-Lin Xu (2020) Dynamic Path Planning for Collision Avoidance of USV based on D* Algorithm. *International Core Journal of*

می‌تواند به بهبود کارایی، کاهش هزینه‌ها، و افزایش ایمنی در عملیات‌های مختلف کمک کند. با این حال، موفقیت آن‌ها نیازمند غلبه بر چالش‌های فنی، عملیاتی، و نظارتی است که همچنان بهبود و توسعه بیشتری نیاز دارند.

با توجه به اهمیت این فناوری‌ها، تحقیقات و سرمایه‌گذاری‌های بیشتری برای توسعه فناوری‌های جدید در زمینه شناورهای سطحی بدون سرنشین ضروری است تا این شناورها بتوانند به طور کامل در عملیات‌های مختلف دریایی استفاده شوند و نقش خود را در ایمنی و کارایی دریایی ایفاء کنند.

۹. منابع و مراجع

- [1]-Bai, X., Li, B., Xu, X. *et al.* A Review of Current Research and Advances in Unmanned Surface Vehicles. *J. Marine. Sci. Appl.* 21, 47–58 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11804-022-00276-9>
- [2]-Cao Juan, Wang Xuesong (۲۰۱۸) Development status and future prospects of USV at home and abroad. *China Ship Survey* (۵): ۴. <https://doi.org/CNKI:SUN:ZGCI.۰۰۵.۰۰.۲۰۱۸>
- [3]-Cao Juan, Wang Xuesong (2018) Development status and future prospects of USV at home and abroad. *China Ship Survey* (5): 4. <https://doi.org/CNKI:SUN:ZGCI.0.2018-05-026>.
- [4]-Chen Yingbin (2019) Overview of USV development status and key technologies. *Scientific and Technological Innovation* (2):2. <https://doi.org/CNKI:SUN:HLKX.0.2019-02-036>.
- [5]- States Navy (2007) The Navy Unmanned Surface Vehicle (USV) Master Plan
- [6]-Dai Guangshu (2019) Data fusion application technology in marine unmanned driver technology. *Ship Science and Technology* 41(14): 55–57. <https://doi.org/10.3404/j.issn.1672-7649.2019.7A.019>
- [7]- Peng Z, Wang J, Wang D, Han QL (2021) An Overview of Recent Advances in Coordinated Control of Multiple Autonomous Surface Vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 17(02): 732–745. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3004343>
- [8]- Dai Guangshu (2019) Data fusion application technology in marine unmanned driver technology. *Ship Science and Technology* 41(14): 55–57. <https://doi.org/10.3404/j.issn.1672-7649.2019.7A.019>
- [9]-Zhou Xiangyu, Wu Zhaolin, Wang Fengwu, Liu Zhengjiang (2019) Definition of autonomous ship and its autonomous level. *Journal of Traffic and Transportation Engineering* 19(06): 149–162. <https://doi.org/CNKI:SUN:JYGC.0.2019-06-016>.
- [10]- Chen Yingbin (2019) Overview of USV development status and key technologies. *Scientific and Technological Innovation* (2):2. <https://doi.org/CNKI:SUN:HLKX.0.2019-02-036>.

- [34]- Sun Xiaojie (2016) Research on Real-time Path Planning System for Unmanned Surface Vessel. Dalian Maritime University
- [35]-Sun Xiaojie, Wang Guofeng, Fan Yunsheng (2021) Collision avoidance guidance and control scheme for vector propulsion unmanned surface vehicle with disturbance. *Applied Ocean Research* 115. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2021.102799>
- [36]-Sun Xu, Cai Yuliang (2020) Ship technology: from automation to autonomy. *China Ship Survey* (5): 46–48. <https://doi.org/CNKI:SUN:ZGCI.0.2020-05-016>.
- [37]-Su Shibin, Liu Yingce, Lin Hongshan, Wu Ronghui, Zhou Xiaoying (2018) Development and Key Technologies of Unmanned Transport Ship. *Ship & Ocean Engineering* 47(05): 56–59. <https://doi.org/10.3963/j.issn.1671-7953.2018.05.013>
- [38]-Tuan L, Hongping Z, Zhouzheng G, Qijin C, Xiaojie N (2018) High-Accuracy Positioning in Urban Environments Using Single-Frequency Multi-GNSS RTK/MEMS-IMU Integration. *Remote Sensing* 10(2): 205. <https://doi.org/10.3390/rs10020205>
- [39]-United States Navy (2007) The Navy Unmanned Surface Vehicle (USV) Master Plan
- [40]-Vasudevan Shriram K, Baskaran Balraj (2021) An improved realtime water quality monitoring embedded system with IoT on unmanned surface vehicle. *Ecological Informatics* 65. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101421>.
- [41]-Wang Chengbo, Zhang Xinyu, Li Junjie (2018a) Development ideas of unmanned ship navigation technology based on e-navigation. *Journal of Jimei University (Natural Science)* 23(5): 354–359. <https://doi.org/10.19715/j.jmuzr.2018.05.006>
- [42]-Wang Chengbo, Zhang Xinyu, Zou Zhiqiang, Wang Shaobo (2018b) On path planning of unmanned ship based on Q-learning. *Ship & Ocean Engineering* 47(5): 168–171. <https://doi.org/10.3963/j.issn.1671-7953.2018.05.038>
- [43]-Wang Yunhui, Chen Yuao, Liang Mincang (2021a) Research on the impact of the development of USV on Seafarers' career and its countermeasures. *Shipping Management* 43(8): 41–44. <https://doi.org/10.3340/j.jsm.2021.08.015>
- [44]-Wang Yuanyuan, Liu Jialun, Ma Feng, Wang Xingping, Yan Xinping (2021b) Review and prospect of remote control intelligent ships. *Chinese Journal of Ship Research* 16(1): 18–31. <https://doi.org/10.19693/j.issn.16733185.01939>
- [45]-Wei Xinyong, Huang Yesheng, Hong Xiaobin (2018) Local obstacle avoidance method for unmanned surface vehicle based on VFH* algorithm. *China Measurement & Test* 44(12): 39–45. <https://doi.org/10.11857/j.issn.1674-5124.2018.12.007>
- Engineering, 6(5):73–83. [https://doi.org/10.6919/ICJE.202005_6\(5\).0013](https://doi.org/10.6919/ICJE.202005_6(5).0013)
- [23]-Liu Chunyang (2021) Research on ship navigation automation and navigation intelligence. *Marine Equipment Materials & Marketing* 29(5): 65–66. <https://doi.org/10.19727/j.cnki.cbwzysc.2021.05.025>
- [24]-Liu Jian (2014) Research on path planning technology of unmanned surface vehicles. Jiangsu University of Science and Technology.
- [25]-Liu Zuopung (2021) The application of intelligent technology and unmanned driving technology in ship design. *Ship Science and Technology* 43(4): 7–9
- [26]-Lu J, Yan L, Xia Y, Qiao G, Fu M, Lu K (2017) Asynchronous multirate multisensor data fusion over unreliable measurements with correlated noise. *IEEE Transactions on Aerospace & Electronic Systems* 53(99): 2427–2437. <https://doi.org/10.1109/taes.2017.2697598>
- [27]-Lv Guanghao, Peng Zhouhua, Wang Haoliang, Liu Lu, Wang Dan, Li Tieshan (2021) Extended-state-observer-based distributed model predictive formation control of under-actuated unmanned surface vehicles with collision avoidance. *Ocean Engineering* 238. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109587>
- [28]- Mccue L (2016) Handbook of marine craft hydrodynamics and motion control. *IEEE Control Systems* 36(1):78–79. <https://doi.org/10.1109/MCS.2015.2495095>
- [29]-McLaughlin R (2004) Unmanned naval vehicles at sea: USVs, UUVs, and the adequacy of the law. *Journal of Law Information & Science* 21(2). <https://doi.org/10.5778/JLIS.2011.21.McLaughlin.1>
- [30]-Nan Gu, Dan Wang, Zhouhua Peng, Jun Wang, Qing-Long Han (2022) Disturbance observers and extended state observers for marine vehicles: A survey. *Control Engineering Practice* 123:0967–0661. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2022.3162862>
- [31]-Ning Xinlong (2021) Brief analysis on the application prospect of unmanned survey ship in underwater topographic survey. *Water Conservancy Construction and Management* 41(3): 4. <https://doi.org/10.16616/j.cnki.11-4446/TV.2021.03.12>
- [32]-Peng Z, Wang J, Wang D, Han QL (2021) An Overview of Recent Advances in Coordinated Control of Multiple Autonomous Surface Vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 17(02): 732–745. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3004343>
- [33]-Pu Jinjing, Liu Han, Jiang Yunhua, Huang Jian, Kuang Guangshen, Bruce Lee (2020) Summary of the Status and Development Trends of Unmanned Surface Vehicle. *Marine Information* 35(1): 6–11. <https://doi.org/CNKI:SUN:HTXX.0.2020-01-002>.

<https://doi.org/10.19727/j.cnki.cbwzysc.2020.10.003>

[58]-Zhang Guoqing, Li Jiqiang, Jin Xu, Liu Cheng (2021) Robust adaptive neural control for wing-sail-assisted vehicle via the multiport event-triggered approach. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 2168–2267. <https://doi.org/10.1109/TCYB.2021.3091580>

[59]-Zhang Weipeng, Zhang Zhimin (2020) Research on the legal applicability of the requirement of maritime safety governance and navigation guarantee service on unmanned ships and associated countermeasures. *China Maritime Safety* (9): 31–34. <https://doi.org/10.16831/j.cnki.issn1673-2278.2020.09.012>

[60]- Lin Xu (2020) Dynamic Path Planning for Collision Avoidance of USV based on D* Algorithm. *International Core Journal of Engineering*, 6(5):73–83. [https://doi.org/10.6919/ICJE.202005_6\(5\).0013](https://doi.org/10.6919/ICJE.202005_6(5).0013)

[46]-Wrobel K, Montewka J, Kujala P (2018) System-theoretic approach to safety of remotely-controlled merchant vessel. *Ocean Engineering* 152:334–345.

<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.01.020>

[47]-Wu Zhaolin (2017) Ship automatic navigation and navigation intelligence. *China Maritime Safety* (08):16–19.

<https://doi.org/10.16831/j.cnki.issn1673-2278.2017.08.007>

[48]-Xie Boyu, Li Maoqing, Yue Lili (2020) Research on Route Real-Time Planning of UAV-Intelligent Platoons Cooperative Systems. *Computer Engineering and Applications* 56(20):8. <https://doi.org/10.3778/j.issn.1002-8331.2002-0038>

[49]-Xu Chunsong, Zhang Renping (2017) Thoughts on the development of unmanned ships and the revision of maritime conventions. *World shipping* 40(03):20–22.

<https://doi.org/10.16176/j.cnki.21-1284.2017.03.004>

[50]-Xu Daguang (2020) Research on Object Detection Technology of USV based on Information Fusion Technology. *Jimei University*, (5): 4–51. <https://doi.org/10.27720/dxnki.gjmdx.2020.000252>

[51]-Xue Min, Xu Haicheng, Wang Shuo (2018) Path planning of unmanned craft based on particle swarm optimization algorithm. *China Science and Technology Information* (24): 69–70. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-8972.2018.24.025>

[52]-Xu Xiaofeng, Xiao Yingjie, Zhang Xuelai (2021) A Review on Optimization of Unmanned Ship Path Based on Collision Avoidance Rules. *Journal of Transport Information and Safety* 39(02): 1–8. <https://doi.org/10.3963/j.jssn.1674-4861.2021.02.001>

[53]-Yan N, Huang S, Kong C (2021) Reinforcement Learning-Based Autonomous Navigation and Obstacle Avoidance for USVs under Partially Observable Conditions. *Hindawi*. <https://doi.org/10.1155/2021/5519033>

[54]-Yang Baicheng, Zhao Zhilei (2018) Multi-ship encounter collision avoidance decisions based on improved simulated annealing algorithm. *Journal of Dalian Maritime University* 44(02): 22–26. <https://doi.org/10.16411/j.cnki.issn1006-7736.2018.02.004>

[55]-Yang Bo (2015) Intelligent ship operation and maintenance technology. *Maritime China* (12): 68–69. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-6664.2015.12.022>

[56]-Yang Yi (2020) Information fusion of an unmanned surface vehicle integrated navigation system. *Dalian Maritime University* <https://doi.org/10.26989/dxnki.gdlhu.2020.00038>

[57]-Yin Qun, Liu Tian, Mao Wenqiang (2020) Some thoughts on Key Technologies of intelligent ship. *Marine Equipment/Materials & Marketing* (10):5–6.

الگوی نگارش مقاله در دوفصلنامه «مهندسی شناورهای تندرو»

نام و نام خانوادگی نویسنده

Author@Email، سازمان متبوع نویسنده،

چکیده:

چکیده حداکثر شامل ۳۰۰ کلمه در یک یا دو پاراگراف بوده با قلم BNazanin-11- Bold برای نوشتار فارسی و با قلم Times New Roman-10- Bold برای لغات انگلیسی و به صورت تک‌ستونی آورده شود.

واژه‌های کلیدی:

مجاز شده با ویرگول، با قلم BNazanin-11 برای نوشتار فارسی و با قلم Times New Roman-10 برای لغات انگلیسی.

۱- مقدمه

۲۷mm

عنوان فارسی مقاله بایستی با قلم B Triffic-18- Bold بوده و از دو خط تجاوز نکرده و نام نویسندگان مقاله با قلم B Nazanin-12- Bold و رتبه علمی آنها با قلم B Nazanin-10 فارسی و Times New Roman-9 لاتین به ترتیب در زیر عنوان مقاله آورده شود. بقیه تیترهای اصلی بایستی با قلم B Nazanin-12- Bold و تیترهای فرعی (زیربخش‌ها) با قلم B Nazanin-11- Bold متن مقاله، با قلم BNazanin-12 و قلم Times New Roman-11 برای لغات انگلیسی، با نرم‌افزار Word 2003 یا Word 2007 تحت ویندوز XP و با فواصل بین خطوط به صورت (Single) نوشته شود. عنوان بخش‌ها باید با قلم BNazanin-12- Bold و شماره‌گذاری شده با شروع از ۱ و با تورفتگی از ابتدای خط و فضای سفید ۶ نقطه با بخش بالایی نوشته شود.

۲- فرمت مقاله

مقالات باید در اندازه صفحه A4 چاپ شده باشند. مقاله بایستی بین ۱۰ تا ۱۵ صفحه دواستونی بوده و شکل‌ها و جدول‌های آن داخل متن آورده شود. این تعداد صفحات با در نظر گرفتن تمامی شکل‌ها، جدول‌ها و مراجع مقاله می‌باشد. هر مقاله باید به صورت‌های Word PDF تهیه و ارسال شود.

۳- حاشیه‌ها

حاشیه بالا و چپ ۲/۵ سانتی‌متر و حاشیه راست و پایین ۲/۷ سانتی‌متر باشد. این حاشیه برای تمام صفحات شامل صفحه اول نیز اعمال می‌گردد. متن باید در دو ستون با عرض هر کدام ۷/۴ سانتی‌متر و با فاصله بین دو ستون ۱/۰ سانتی‌متر تنظیم شود. تورفتگی پاراگراف‌های بعدی ۰/۵ سانتی‌متر است.

۴- جدول‌ها و شکل‌ها (نمودارها و عکس‌ها)

هر جدول یا شکل باید دارای شماره، عنوان و توضیح بوده و با قلم BNazanin-12 نوشته شود. عنوان جداول به صورت وسط‌چین در بالای جدول و عنوان شکل‌ها به صورت وسط‌چین در زیر شکل نوشته شود. ذکر واحد کمیت‌ها در جدول و شکل الزامی است. در متن مقاله باید به همه جدول‌ها یا شکل‌ها ارجاع داده شود. در صورتی که ناچار به استفاده از شکل‌های بزرگ‌تر از یک ستون هستید شکل را در بالا یا پایین صفحه مورد نظر قرار دهید. شکل‌ها و جدول‌ها نباید پیش از اولین اشاره به آنها در متن مقاله ظاهر شوند. هیچ‌گاه عناوین را به عنوان قسمتی از شکل به صورت تصویری ذخیره نکنید. همچنین، اطراف عنوان‌ها، شکل‌ها و جدول‌ها از کادر اضافی استفاده نکنید.

۵- فرمول‌ها و معادلات

معادلات باید به ترتیب از ابتدا تا انتها شماره‌گذاری شوند. شماره معادلات باید در انتهای سمت راست هر ستون و در امتداد خط حاوی معادلات در پرانتز قید شود. تمام متغیرها، پارامترها و نمادهای یک عبارت ریاضی باید

۲۵mm

۱۰mm

۲۷mm

[2] Family, F., and Family, J., Principles of solar engineering, Hemisphere-McGraw Hill. 1978.

[3] Family, R. R., Family, M. X., and Family, M. J., "Fundamental studies of transition-metal sulfide catalytic materials," In *Advances in Catalysis*, Vol. 40, edited by D. D., Eley, H., Pines, and W. O., Haag, Burlington, Mass, Academic press. 1994.

[۴] سیف محمدسعید، سالاری محمود، تیموری مهدی، «کاهش مقاومت در شناورهای تندرو با استفاده از جدایش جریان به کمک پله‌های عرضی»، اولین همایش ملی هیدرودینامیک کاربردی، تهران، دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۸۹.

[5] Family, C. H., Family, B. X., and Family, X. F., "Experimental investigation on boiling of nano-particle suspension," Boiling Heat Transfer Conference, Jamaica, 2003.

[6] <http://www.website.com>

توضیح داده شوند. کلمات و یا عبارت لاتین (غیر از اختصارات) فقط می‌تواند در زیرنویس ظاهر شود.

۶- سیستم واحدها

سیستم واحد قابل قبول، سیستم بین‌المللی (SI) بوده و در مواقع ضروری معادل آن در سیستم واحدهای دیگر در داخل پرانتز به کار رود.

۷- نتایج

این بخش شامل ارائه نتایج تحقیق و مباحث مربوط به آنها می‌باشد.

۸- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

جمع‌بندی نتایج حاصل از تحقیق در این بخش ذکر شود.

۹- تشکر و قدردانی (در صورت لزوم)

در صورت لزوم نویسندگان می‌توانند مراتب تشکر و قدردانی خود را از حامیان تحقیق در این قسمت درج کنند.

۱۰- فهرست علائم (در صورت لزوم)

محل فهرست علائم قبل از مراجع است. ابتدا علائم انگلیسی به ترتیب الفبا و سپس علائم یونانی به ترتیب الفبا تایپ شود.

مساحت، $A \quad m^2$

چگالی، $\rho \quad kg/m^3$

۱۱- مراجع

منابع اشاره شده در متن باید توسط شماره‌هائی مانند [۱] در داخل کروشه نشان داده شوند. بدیهی است مشخصات کامل مقاله در بخش مراجع با ذکر همان شماره آورده می‌شود. ترتیب قرار گرفتن مقالات در بخش مراجع همانند ترتیب رجوع به آن مقالات در متن مقاله می‌باشد. به جز مراجع نامبرده شده در متن، مرجع دیگری در بخش مراجع نوشته نشود. نحوه نوشتن عنوان مراجع بر حسب اینکه مقاله مجله [۱]، کتاب [۲]، مطلبی متعلق به کتابی که توسط افراد مختلف نوشته شده باشد [۳] یا مقاله کنفرانس [۴،۵] باشد، به ترتیب زیر خواهد بود:

[1] Family, M. M., and Family, J. G., "The concepts of energy, environment, and cost for process design," *International Journal of Green Energy*, Vol. 1, pp. 137-151, 2004.