



گروه صنایع دریایی High Speed Crafts Engineering

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

سال ۲۲ ، شماره ۶۳
پاییز و زمستان ۱۴۰۲

دارای رتبه علمی از وزارت علوم، تحقیقات و فنآوری
با مجوز شماره ۶۴۸۲۷ / ۱۸ / ۳ / مورخ ۰۶ / ۰۴ / ۱۳۹۴
شماره شاپا: ۲۴۲۳-۳۶۶۸

صاحب امتیاز:

دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)
دانشکده علوم و فنون شناوری جواد الائمه (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 وفاقی 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 خاينه ای (مدفله العالی)

معاونت پژوهش

تلفن: ۳۳۱۴۹۱۷۴ - ۳۳۱۴۹۱۶۳ - ۰۱۳ و ۰۹۱۰۵۹۱۶۰۹

کد پستی: ۴۳۴۹۱۶۳۴۳۹

پست الکترونیک: daryainfo@gmail.com

فهرست:

- ۳ بررسی پدیده کاویتاسیون و انتشار نویز در پروانه های رانش دریایی /
 کامین صابری زاد، محمدحسین قائدشرف، وحید آئینی، سیدحسین خوش دل هاشمی
- ۱۸ تأثیر نوع بال در عملکرد قایق های پرنده /
 سعید جامعی، رحمن فتاح
- ۳۰ مقایسه اثر پنهان نگاری بر محتوای دیتای ارسالی در استانداردهای کدگذار صوتی CELP، MELP و LPC /
 پوریا اعتضادی فر، سعید طلعتی، محمدرضا حسنی آهنگر، مهدی ملازاده
- ۳۷ مستحکم سازی درب های آب بند کشتی با رویکرد سبک سازی /
 مجتبی پاکیان بوشهری
- ۴۶ بررسی تجربی دقت تعمیم نتایج تست آب آزاد پروانه های CRP در نسبت پیشروی های مختلف /
 امین محمدزاده ثانی، مهدی پورواحدی
- ۵۸ یادگیری ماشین در شناورهای تندرو /
 فرهاد کیانی فلاورجانی
- ۷۲ اندازه گیری دقیق سطح منبع آکوستیکی شناورها در خلیج فارس /
 مهدی خوشحالی رودپشتی، محمد خوشحال رودپشتی، مژگان دولتیاری سوران، رضا افروزه
- ۸۵ تخمین زاویه دید و تعیین کلاس یک هدف دریایی با استفاده از تقریب مستطیلی /
 علی محمد دهقانی، سیدمحمد علوی
- ۹۶ الگوی نگارش مقاله /

بررسی پدیده کاویتاسیون و انتشار نویز در پروانه‌های رانش دریایی

کامین صابری‌زاد^۱، محمدحسین قاندرشرف^۲، وحید آئینی^۳، سیدحسین خوش‌دل هاشمی^۴

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

۲- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک - ساخت و تولید، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران

۳- کارشناس مهندسی مکانیک، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی، چابهار

چکیده:

پروانه‌های دریایی اعضای مهم و حیاتی هستند که ارتباط میان موتور شناور و آب را برقرار می‌کنند و قسمت اعظم توان تولیدشده توسط آن‌ها به حرکت روبه‌جلو شناور تبدیل می‌شود. به دلیل افزایش مداوم اندازه کشتی‌ها، محدودیت منابع انرژی، اثرات زیست‌محیطی سوخت‌های فسیلی و غیره، انتخاب پروانه مناسب برای شناورها که تقاضای موجود جهت تولید نیروی رانش و راندمان بیشتر را تأمین نماید و همچنین سبب صرفه‌جویی در سوخت شود؛ دارای اهمیت است. علی‌رغم آن‌که بیش از یک قرن از شروع استفاده از پروانه‌های دریایی برای رانش کشتی‌ها می‌گذرد؛ تحقیق و بررسی بر روی عملکرد و طراحی پروانه هنوز یک موضوع مهم به شمار می‌آید. پدیده کاویتاسیون یکی از مسائل مهم در طراحی پروانه شناور است و از آن می‌توان به‌عنوان معیاری جهت طراحی نام برد زیرا در صورت وقوع این پدیده ناخواسته ضمن کاهش مزایای آکوستیکی پروانه کشتی دچار فرسودگی می‌شود و در برخی موارد صدمات جبران‌ناپذیری می‌بیند. در طراحی شناورها نویز باعث ایجاد محدودیت‌های نسبتاً مختلفی می‌گردد که این محدودیت‌ها در دو حوزه مورد بحث قرار می‌گیرند؛ نخست تأثیر نویز بر روی سنسورها و سامانه‌های سلاح‌های خودی و دوم تأثیر این نویز در اطراف کشتی است که یکی از عوامل شناسایی توسط سامانه‌های شناسایی دشمن است. در شناورهای زیرسطحی مهم‌ترین پارامتر در طراحی پروانه فاکتور میزان اختفا و کاهش سطح نویز انتشاری می‌باشد. ورتکس نوک پره پروانه را می‌توان یکی از قوی‌ترین منابع تولید نویز، کاهش تراست و راندمان و عامل ارتعاشات القایی روی بدنه معرفی کرد که با بهینه‌سازی نوک پره اعمال میزان سطح نویز را می‌توان تا حد مطلوبی کاهش داد. لذا بایستی فاکتورهای هندسی تأثیرگذار بر روی هندسه نوک پره برای رسیدن به این مهم بهینه گردند. در این پژوهش سعی بر این است که پدیده کاویتاسیون معرفی و معایب آن بررسی شود.

واژه‌های کلیدی:

پروانه، نیروی رانش، کاویتاسیون، آکوستیک، شناور

Investigating the phenomenon of cavitation and noise emission in marine propellers

K. saberizad¹, M.H. Qaed Sharaf², V. Aeni³, S. H. Khoshdel Hashemi⁴

1, 2 Department of Mechanical Engineering, Malik Ashtar University of Technology, Isfahan

3 Technical and Vocational University No. 1 Pesran (Shahed Mufteh Hamadan)

4 Department of Mechanical Engineering, University of Maritime and Marine Sciences, Chabahar

Abstract

Marine propellers are important and vital members that establish a connection between the floating engine and the water, and most of the power generated by them turns into the forward movement of the floating. The phenomenon of cavitation is one of the important issues in the design of floating propellers, and it can be mentioned as a criterion for design, because if this unwanted phenomenon occurs, the acoustic benefits of the ship's propeller will be reduced, and in some cases irreparable damage will occur. Sees. In the design of vessels, noise creates relatively different limitations, which are discussed in two areas, firstly, the effect of noise on the sensors and systems of internal weapons, and secondly, the effect of this noise around the ship, which is one of the factors of identification by enemy identification systems. In subsurface floats, the most important parameter in propeller design is the amount of concealment and reduction of the emission noise level. The vortex of the tip of the propeller blade can be introduced as one of the strongest sources of noise generation, reduction of thrust and efficiency, and the cause of induced vibrations on the body. Therefore, the geometric factors affecting the blade tip geometry should be optimized to achieve this goal. In this research, an attempt is made to introduce the phenomenon of cavitation and examine its disadvantages.

Keywords:

Propeller, thrust, cavitation, acoustics, buoyancy

گردابه‌ها^۱ از زمان فرموله کردن قضایای گردابه پایه توسط هلمهولتز^۲ [۱] موضوع تحقیقات شدید در دینامیک سیالات بوده است. گردابه‌ها را می‌توان به عنوان یک منطقه سیال با قدرت گردابه بالا در مقایسه با محیط اطرافش که به‌عنوان چرخش بردار سرعت تعریف می‌شود را توصیف کرد [۲]. گردابه می‌تواند توسط جریان برشی، انحنای جریان، نیروی کوریولیس^۳ یا باروکلینیتته^۴ ایجاد شود. گردابه‌ها بر جریان آشفته از طریق مخلوطی از حرکات آشفته و ساختارهای منسجم حاکم هستند که ساختارهای با انسجام مکانی و زمانی هستند. اجسام بالابر مانند بال‌ها و پروانه‌ها از طریق جمع‌شدن صفحات گردابی که توسط اختلاف سرعت بین سمت مکش و سمت فشار بدنه ایجاد می‌شود، گرداب تولید می‌کنند. این گردابه‌ها باید در هنگام تجزیه و تحلیل نیروهای وارده بر بدنه در نظر گرفته شوند و ممکن است منجر به پدیده‌های دینامیکی سیال دیگری مانند نویز شوند. همان‌طور که توسط یانگ^۵ (۱۹۸۹) [۳] توصیف شد، پدیده کاویتاسیون^۶ اولین بار توسط نیوتن^۷ در سال ۱۷۰۴ توصیف شد. بین سال‌های ۱۸۹۵ و ۱۸۹۷، بررسی مسابقه توربین‌های بخار محرک پروانه‌های کشتی منجر به مقالاتی توسط بارنابی و تورنیکرافت^۱، بارنابی و پارسونز^۲ شد که در آن کاویتاسیون برای اولین بار ذکر و مورد بحث قرار گرفت. کلمه کاویتاسیون توسط آر. ای. فرود پیشنهاد شده است. در سال ۱۸۹۵، پارسونز [۴] اولین آزمایش مدل را در یک تونل کاویتاسیون بسیار کوچک انجام داد، که برای ایجاد حباب روی پروانه باید با آب داغ پر می‌شد. در سال ۱۹۱۰، او اولین تونل کاویتاسیون واقعی را در دانشگاه نیوکاسل ساخت. قطر بخش آزمایشی دایره‌ای ۹۱ سانتی‌متر و قطر پروانه‌های آزمایش شده ۳۰ سانتی‌متر بود [۴]. این بررسی‌ها مربوط به رانش-شکستگی پروانه کشتی به دلیل کاویتاسیون بود. این پدیده در آن روزها ناشناخته بود اما امروزه به‌خوبی پیش‌بینی می‌شود. تحقیقات فعلی در مورد کاویتاسیون برای پروانه‌ها، پمپ‌ها و توربین‌های کشتی با فرسایش و نویز و ارتعاش مرتبط است.

۲- سابقه تحقیقات و مطالعات انجام گرفته

در سطح بین‌المللی ونگ و همکاران در سال ۲۰۲۱ یک شبکه عصبی برای پیش‌بینی نویز تابشی زیر آب ملخ‌های دریایی پیشنهاد دادند [۵]. سیزن و همکاران در سال ۲۰۲۱ تأثیر زبری رسوب زیستی بر عملکرد پروانه دریایی از جمله کاویتاسیون و نویز تابشی زیر آب را بررسی نمودند [۶]. مجددا سیزن و همکاران در ژانویه سال ۲۰۲۱ پژوهشی در مورد تأثیر مدل‌های آشفستگی ویسکوزیته گردابی و تأثیر تفکیک شبکه بر روی پروانه دریایی نویز تابشی زیر آب با استفاده از قیاس صوتی انجام دادند [۷]. کو و همکاران در آگوست سال ۲۰۲۱ بررسی عددی نویز کاویتاسیونی نوک گردابی ملخ‌های زیردریایی با استفاده از رویکرد هیدروآکوستیک محاسباتی ترکیبی را انجام دادند [۸]. نوبل و همکاران در سال ۲۰۲۱ تحقیقی در مورد کاویتاسیون پروانه DREA انجام دادند [۹]. کائو و همکاران در جون سال ۲۰۲۱ یک روش ردیابی معکوس برای حل نویز تابشی ناشی از کاویتاسیون ورق پروانه دریایی با تأییدهای تجربی انجام دادند [۱۰]. ابراهیمی و همکاران در سال ۲۰۲۱ بررسی تجربی عملکرد هیدرودینامیکی، کاویتاسیون و نویز پروانه دریایی معمولی سری بی در تونل کاویتاسیون انجام دادند [۱۱]. دوبیوسو و همکاران در سال ۲۰۲۱ تحلیل عددی پروانه‌های دریایی نویز فرکانس پایین در حین مانور را انجام دادند [۱۲]. چوی و همکاران در سال ۲۰۲۱ پیش‌بینی نویز پهنای باند زمانی برای ملخ‌های دریایی بدون کاویتاسیون با مدل‌های طیف فشار دیوار انجام دادند [۱۳]. تانی و همکاران در سال ۲۰۲۰ نتایج برنامه تست دور رابین برای نویز یک پروانه کاویتینگ را منتشر نمودند [۱۴]. پارک و همکاران در سال ۲۰۲۰ مطالعه‌ای بر روی اعتبارسنجی روش آزمایش مدل برای پیش‌بینی نویز کاویتاسیون پروانه انجام دادند [۱۵]. مجددا کائو و همکاران در سال ۲۰۲۰ بصورت تجربی نویزهای دوقطبی پروانه دریایی را پیش‌بینی نمودند [۱۶]. ابراهیمی و همکاران در سال ۲۰۱۹ بررسی جامعی بر روی روش‌های کاهش نویز ملخ‌های دریایی و روش‌های طراحی انجام دادند [۱۷].

⁶ cavitation

⁷ Newton

¹ Barnaby and Thornycroft

² Barnaby and Parsons

¹ Vortices

² Helmholtz

³ Coriolis force

⁴ baroclinity

⁵ Yang

۳- تئوری عملکرد دستگاه رانش

برای حرکت شناورها در یک سرعت معین نیازمند اعمال نیرویی است که بر مقاومت هوا و آب غلبه نماید. این نیرو به وسیله محرکه اصلی تأمین می‌شود. امروزه پروانه‌های معمولی کاربرد بیشتری در سیستم رانش دارند و در حالت کلی نیز مؤثرترین نوع پروانه‌ها هستند. از نظر تئوری عملکرد یک دستگاه رانش را می‌توان براساس اصول نیوتن تشریح نمود. با توجه به قانون دوم نیوتن نتیجه زیر حاصل می‌شود [۱۸]:

$$F = ma \quad (۱)$$

$$F = \frac{m}{\Delta t} \Delta u \quad (۲)$$

لذا جهت جابجایی مقدار معینی از آب $\left(\frac{m}{\Delta t}\right)$ ، با سرعت مشخص Δu به نیروی F نیاز دارد که می‌بایست توسط سیستم رانش ایجاد گردد. این نیرو دارای عکس‌العملی برابر و در جهت عکس خواهد بود که نیروی رانش رو به جلوی شناور را تشکیل می‌دهد. چنانچه q دبی حجمی و ρ چگالی سیال باشد، مقدار نیروی رانش برابر است با:

$$Tr = \rho q \Delta u \quad (۳)$$

برای ایجاد نیروی رانش معین Tr با ρ معین دو حالت می‌توان در نظر گرفت، Δu بزرگ و q کوچک و یا بالعکس. در حالت اول که زیاد و Δu نسبتاً کوچک می‌باشد حجم سیستم رانش کوچکتر شده و قابل نصب در داخل شناور می‌باشد. نمونه چنین سیستم رانشی سیستم واترجت می‌باشد؛ اما در حالت دوم برای ایجاد دبی حجمی زیاد ضمن داشتن اختلاف سرعت نسبتاً کم، دستگاه رانش حجیم گردیده و حتماً باید خارج بدنه شناور جاسازی گردد. نمونه چنین سیستم رانشی سیستم پروانه می‌باشد. یک پروانه معمولی دارای دو یا تعداد بیشتری پره می‌باشد، بر روی یک توپی قرار گرفته و این توپی روی یک شفت سوار است که توسط موتور اصلی گردانده می‌شود.

۳-۱- هندسه پروانه

پروانه را می‌توان مهم‌ترین قسمت در سیستم رانش یک شناور دانست که وظیفه اصلی آن ایجاد نیروی تراست مناسب جهت پیشروی شناور در دریا می‌باشد. از گذشته‌های دور طراحان همواره سعی بر بهینه نمودن

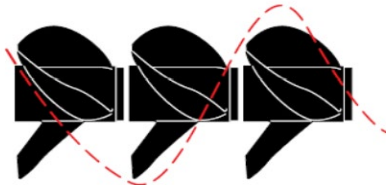
عملکرد پروانه‌های دریایی داشته‌اند. در این قسمت، پارامترهای موجود در هندسه پروانه معرفی خواهد شدند.

۳-۱-۱- قطر پروانه: به دایره‌ای گویند که شعاع آن از مرکز شفت تا انتهای لبه پروانه باشد [۱۸].

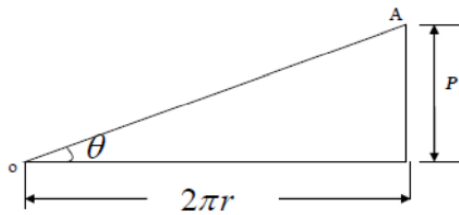


شکل ۱- شماتیکی از قطر پروانه [۱۸]

۳-۱-۲- گام پروانه: به فاصله محوری جابه‌جا شده در اثر یک دور گردش پروانه گویند (مشابه گام پیچ).



شکل ۲- نمای از گام پروانه [۱۸]



شکل ۳- زاویه گام [۱۸]

و با توجه به شکل ۳، رابطه ۴ برای زاویه گام^۱ وجود خواهد داشت:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\text{pitch}}{2\pi r} \quad (۴)$$

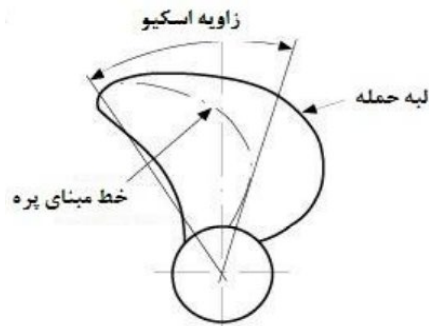
۳-۱-۳- نسبت گام: نسبت گام پروانه به قطر را نسبت گام می‌نامند و به فرم زیر نشان داده می‌شود:

$$\text{pitch ratio: PR} = \frac{\text{Pitch}}{D} \quad (۵)$$

۳-۱-۴- زاویه اسکیو^۲: یکی از پارامترهایی که به وسیله آن فرم مارپیچی پروانه تعریف می‌گردد زاویه اسکیو است.

² Skew angle

¹ pitch angle



شکل ۴- نمایشی از زاویه اسکيو [۱۸]

زاویه اسکيو در یک مقطع از پره برابر است با زاویه بین خط مبنای پره (خط عبوری از قسمت میانی پره و درامتداد عمود بر محور شفت) و خطی که مابین نقطه محور شفت و نقطه لبه پره در صفحه تصاویر شده پروانه رسم می‌گردد. وجود اسکيو در پروانه سبب می‌گردد که جریان آب به‌طور ناگهانی و در یک لحظه وارد پره‌ها نشود؛ زیرا این کار سبب وارد شدن نیروهای زیادی از طرف آب بر پره و همچنین ایجاد ارتعاش در پره‌ها می‌شود. وجود اسکيو مناسب در پره سبب توزیع تدریجی نیرو بر روی سطح پره و همچنین پایین آمدن میزان ارتعاشات پره می‌شود.

۳-۱-۵- نسبت مساحت توسعه یافته $\left(\frac{A_E}{A}\right)$:

این نسبت برابر است با مساحت توسعه یافته تقسیم بر مساحت دیسک، که مساحت توسعه یافته (A_E) برابر با سطح محصور شده توسط یک پره ضرب در تعداد پره‌ها و مساحت دیسک (A) برابر با مساحت دایره‌ای به قطر D که از نوک پره‌ها عبور می‌کند [۱۸].

۴- کاویتاسیون

پدیده کاویتاسیون یکی از مسائل مهم در طراحی پروانه کشتی است و از آن می‌توان به عنوان معیاری جهت طراحی نام برد؛ زیرا در صورت وقوع این پدیده ناخواسته، پروانه کشتی دچار فرسودگی می‌شود و در برخی موارد صدمات جبران‌ناپذیری می‌بیند. همچنین، ایجاد صدا و افت عملکرد پروانه نیاز از دیگر نتایج منفی آن هستند. در سال ۱۷۵۴ ریاضیدان سوئیسی "اولر" به پدیده کاویتاسیون [۱۹] که ممکن بود در چرخ‌های آبی رخ دهد توجه کرد. ولی تا سال‌های میانی قرن نوزدهم در صنعت دریایی منابع و مراجع کمی درباره‌ی کاویتاسیون تدوین شد تا این که "رینولدز"

مجموعه‌ای از مقالات که درباره‌ی دلایل از کارافتادگی زودرس موتورهای بخار کشتی‌های دارای پروانه نوشت. در این مجموعه وی به معرفی پدیده کاویتاسیون و اثر آن بر کارکرد پروانه کشتی‌ها پرداخته است. در ادامه به بررسی عوامل مؤثر بر پدیده کاویتاسیون پرداخته خواهد شد.

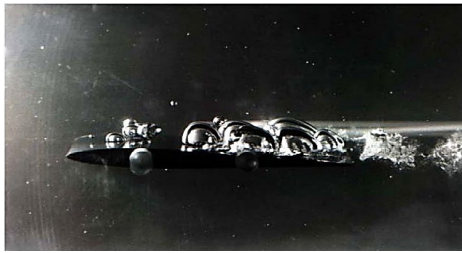
۴-۱- عوامل مؤثر بر پدیده کاویتاسیون

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 احتمال وقوع کاویتاسیون زیاد می‌شود؛ زیرا تغییرات سرعت سریع‌تر و بیشتر می‌شود 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 ساخته است. بنابراین، پیش‌بینی کاویتاسیون امری حیاتی می‌باشد. پدیده کاویتاسیون به‌خاطر پیچیدگی‌های جریان و هندسه پروانه به‌سادگی قابل پیش‌بینی نیست و روش متداول برای کنترل کاویتاسیون استفاده از روابط تجربی یا تست مدل پروانه است. پدیده کاویتاسیون را بر اساس شکل ظاهری به‌صورت‌های زیر تقسیم‌بندی می‌کنند:

۴-۱-۱- کاویتاسیون نوک پره و محور شفت^۱

^۱ Tip and hub vortex cavitation

کاویتاسیون ظاهر می‌شود. حباب‌های ایجاد شده بسیار پرسر و صدا فرو می‌پاشند؛ بنابراین این پدیده پر سر و صدا خورنده و بسیار مضر می‌باشد.



شکل ۷- کاویتاسیون حبابی [۲۲]

۴-۱-۴- کاویتاسیون ریشه‌ای^۴

این نوع کاویتاسیون در ریشه پروانه رخ می‌دهد؛ ظاهری شبیه گوه را داراست و مرتبط با گردابه‌های توسعه‌یافته در ریشه به واسطه اثرات ویک و یا شفت شیب‌دار و عواملی از این قبیل است.



شکل ۸- کاویتاسیون ریشه‌ای [۲۳]

۴-۱-۵- کاویتاسیون ابری^۱

کاویتاسیون ابری معمولاً در ادامه کاویتاسیون صفحه‌ای پایدار و به شدت توسعه‌یافته نمایان می‌شود و سیال به‌طور ملایم و به‌صورت گردابه‌های کوچک از مرکز حباب‌های کوچک جدا می‌شود. این نوع کاویتاسیون به‌صورت ماه یا ابری از حباب‌های بسیار کوچک ظاهر می‌شود. از طرفی باتوجه به شکل زیر با ثابت نگه‌داشتن سرعت ورودی و افزایش سرعت دورانی پروانه الگوی کاویتاسیون ایجاد شده تغییر می‌کند.



شکل ۹- کاویتاسیون ابری [۲۴]

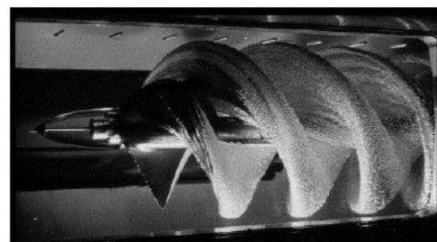
مرکز گردابه‌هایی که در نزدیکی نوک پره و محور شفت وجود دارند چنانچه دارای فشار کمتر از فشار بخار سیال شوند؛ سبب ایجاد این نوع کاویتاسیون می‌شوند. در ابتدا حباب‌های تشکیل شده در فاصله‌ای دور از پشت نوک پره‌های پروانه دیده می‌شوند و در اصطلاح به آن‌ها ورتکس‌های چسبیده‌نشده گفته می‌شود اما هنگامی که این ورتکس‌ها در اثر بارگذاری بالا یا کاهش عدد کاویتاسیون قوی‌تر می‌شوند به سمت نوک پره حرکت نموده و در نهایت به آن می‌چسبند.



شکل ۵: کاویتاسیون نوک پره [۲۰]

۴-۱-۲- کاویتاسیون صفحه‌ای^۲

این نوع کاویتاسیون زمانی رخ می‌دهد که شاهد گردان فشار قوی بوده و حباب از سطح پره جدا می‌شود. کاویتاسیون صفحه‌ای وقتی پره دارای زاویه حمله مثبت باشد ابتدا در لبه حمله پره پروانه ظاهر می‌شود. حباب‌های کاویتاسیون صفحه‌ای عموماً پایدار هستند؛ اگرچه در برخی موارد ناپایداری نیز رخ می‌دهد و در پروانه‌های تجاری معمولاً با گردابه‌های نوک پره ادغام می‌شوند.



شکل ۶- کاویتاسیون صفحه‌ای [۲۱]

۴-۱-۳- کاویتاسیون حبابی^۳

کاویتاسیون حبابی در ابتدا به توزیع فشار ناشی از مکش بالا در منطقه میانی وتر در سطح پره برمی‌گردد. لذا خمیدگی و ضخامت پره نقش مهمی در مستعدبودن آن در برابر کاویتاسیون حبابی دارد. زمانی که سطح پره نسبتاً ضخیم است و در زاویه حمله کوچک کار می‌کند این نوع

⁴ Root cavitation

¹ Cloud cavitation

² Sheet cavitation

³ Bubble cavitation

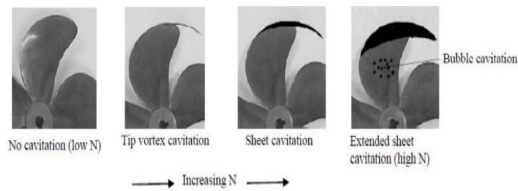
از بخار به مناطق پرفشار سیال می‌روند؛ اندازه حباب کاهش می‌یابد درحالی‌که فشار داخل آن ثابت می‌ماند. پس از مدتی حباب‌ها کوچک می‌شوند و کشش سطحی به واسطه فروپاشی حباب منجر می‌گردد. هنگامی‌که این اتفاق در نزدیکی سطح پره رخ دهد سبب بروز آسیب مکانیکی به سطح پره و خوردگی خواهد شد.



شکل ۱۱- اثر خوردگی پره به سبب کاویتاسیون [۲۵]

۶- شروع کاویتاسیون

شروع کاویتاسیون یک فرآیند پیچیده است که نیاز به حضور هسته درسیال دارد. مروری بر مکانیسم‌های آغازین توسط رود (۱۹۹۱) و اخیراً فقط برای کاویتاسیون صفحه‌ای توسط ون ریجسبرگن (۲۰۱۶) ارائه شده است [۲۶]. بیشتر تحقیقات در مورد کاویتاسیون گردابی در آغاز آن متمرکز شده‌است. در ادامه مکانیسم‌های دخیل در ایجاد کاویتاسیون نوک با تمرکز بر حداقل فشار در مرکز گرداب و تأثیر هسته‌ها به اختصار مورد بحث قرار می‌گیرند. اگرچه ذرات جامد نیز می‌توانند باعث ایجاد کاویتاسیون شوند؛ بیشتر تحقیقات در مورد هسته‌ها بر روی حباب‌های گاز آزاد متمرکز شده است. برای اولین بار توسط مک کورمیک (۱۹۶۲) نشان داده شد که شروع کاویتاسیون یک گرداب نوک پروانه به ضخامت لایه مرزی در سمت فشار نوک پروانه بستگی دارد [۲۷]. مشخص شد که عدد شروع کاویتاسیون σ_i با افزایش عدد رینولدز Re و افزایش زاویه حمله افزایش می‌یابد و مشخص شد که به طور قابل توجهی به محتوای گاز حل‌نشده بستگی دارد. مک کورمیک دریافت که اندازه حباب تولیدی توسط کشش القایی کنترل نمی‌شود و کاویتاسیون صفحه‌ای کاملاً رول شده نشان دهنده شرایط اولیه نیست و یک رابطه نیمه‌تجربی ابداع شد که رابطه‌ای بین عدد آغاز کاویتاسیون و عدد رینولدز را بیان می‌کند. این رابطه بین عدد شروع کاویتاسیون و عدد رینولدز توسط دیگران تایید شده است. رابطه اولیه برای یک پروانه به صورت رابطه ۶ است [۲۸]:



شکل ۱۰- افزایش دور و تغییر الگوی کاویتاسیون [۲۴]

۵- اثرات کاویتاسیون بر پروانه‌ها

پدیده کاویتاسیون می‌تواند در هر قسمتی از شناور که فشار محلی خیلی پایین است رخ دهد. پروانه شناور به سبب افزایش زیاد در سرعت موضعی (کاهش فشار) اطراف پره‌ها به تنهایی منبع بزرگی برای کاویتاسیون است. هنگام وقوع کاویتاسیون بسته‌به گسترش و شدت آن، پروانه متحمل خسارات زیر می‌شود:

۱-۵- کاهش عملکرد

کاویتاسیون جزئی روی پره پروانه اثری بر نیروی تراست نداشته و حتی مقدار کمی حباب می‌تواند آن را افزایش دهد. وقتی ۲۰ الی ۲۵ درصد سطح پره توسط حباب‌ها^۲ پوشانده شود سبب کاهش تراست و گشتاور خواهد شد. نیروی تراست خیلی سریع‌تر از گشتاور کاهش یافته لذا راندمان کاهش می‌یابد. در پروانه‌های تجاری این اتفاق در بارگذاری سبک^۳ و سرعت دورانی پایین به ندرت رخ می‌دهد. با این وجود در پروانه‌ها با بارگذاری بالا^۴ و به‌خصوص در پروانه‌های دارای سرعت دورانی بالا اثرات کاویتاسیون در مشخصات عملکردی پروانه‌ها مشهود است.

۵-۲- ارتعاش

کاویتاسیون صفحه‌ای روی سطح پره حجم قابل توجهی داشته و رفتار دینامیکی این حجم بزرگ از بخار تولیدشده به واسطه نوسانات فشار، ارتعاش نامیده می‌شود. افزایش مساحت سطح پره به‌خصوص در نوک و افزایش زاویه اسکویو دو را مؤثر جهت کاهش ارتعاش می‌باشد.

۳-۵- خوردگی

تولید حباب بخار در سیال یک فرآیند سریع است. وقتی حباب به سمت مناطق فشار پایین در سیال حرکت می‌کند اندازه آن گسترش می‌یابد درحالی‌که فشار داخل آن نزدیک به فشار بخار باقی می‌ماند. زمانی‌که این حباب‌های پر شده

⁴ High loading

² bubbles

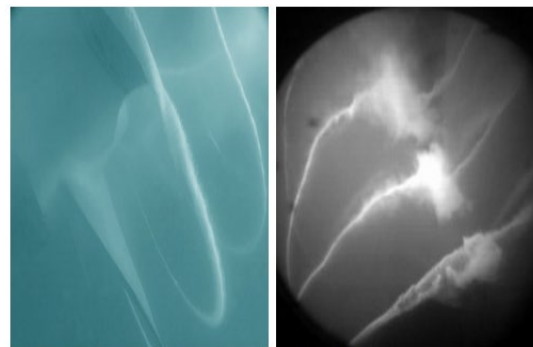
³ Low loading

$$\sigma_i = KC_L^2 Re^m \quad (6)$$

که در آن σ_i عدد شروع کاویتاسیون، K یک ثابت تناسب، C_L ضریب لیفت ایرفویل و Re^m عدد رینولدز براساس طول وتر و سرعت جریان آزاد و مقدار پارامتر m را می‌توان با رشد یک لایه مرزی آشفته مرتبط دانست؛ اما اغلب با برازش داده‌های تجربی تعیین می‌شود. این رابطه همچنین برای تصحیح سرعت شروع کاویتاسیون پروانه‌های در آزمایش‌های مدل با عدد رینولدز که با مقیاس اصلی متفاوت است استفاده می‌شود. مروری بر مقادیر نیمه‌تجربی منتشر شده برای m توسط بیست و یکمین کمیته کاویتاسیون ITTC در ۱۹۹۶ ارائه شده است. شن و همکاران (۲۰۱۸) مدلی را پیشنهاد کرده‌اند که در آن m به عدد رینولدز وابسته است. در MARIN، $m = 0.35$ استفاده می‌شود [۲۸].

۷- کاویتاسیون گردابی

از آنجایی که انواع بسیاری از گرداب‌ها در جریان اطراف پروانه‌های دریایی وجود دارد؛ انواع مختلفی از کاویتاسیون گردابی نیز وجود دارد. برخی از این کاویتاسیون‌های گردابی در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



a) Single-screw bulk carrier b) Single-screw container vessel

شکل ۱۲- تصاویر ویدئویی پرسرعت ساخته شده توسط MARIN از گردابه‌های کاویتاسیونی در مقیاس کامل

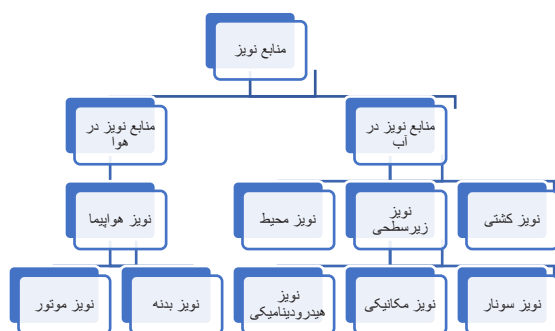
گردابه‌های کاویتاسیونی ایجاد شده در تیغه پروانه‌های دریایی در میدان نزدیک پروانه در غیاب کاویتاسیون ورقه‌ای ساختارهای گردابی پایدار هستند. همان‌طور که در بخش قبل نشان داده شده فقط در پایین دست پروانه، ممکن است یک ناپایداری کلی رخ دهد. با این حال شکل گرداب کاویتاسیون ممکن است از شکل استوانه‌ای منحرف شود و می‌تواند یک مقطع بیضی داشته باشد یا ممکن است وجود گره‌هایی را نشان دهد که در [۲۹] بحث شده است.

کاویتاسیون نوک گرداب یک ایرفویل در شرایط ثابت می‌تواند نوساناتی را نشان دهد که می‌تواند منجر به نویز قوی شود [۳۰]. پنینگز (۲۰۱۶) نیز از همین ایرفویل برای تولید کاویتاسیون گرداب نوک استفاده کرد که آشفتگی‌های آن با استفاده از ویدئوی پرسرعت مشاهده شد [۳۱].

۸- نویز و دسته بندی منابع نویز

نویز عبارت است از انحراف متناوب فشار موضعی از فشار تعادل و ایجاد یک ناحیه پرفشار و کم‌فشار که باعث تولید امواج صوتی می‌گردد [۲۰]. هرگونه ناهمگنی در محیط سیال و یا ارتعاش جسم، منبع تولید نویز است. آلاینده‌های صوتی یا نویز به دودسته نویز بالای سطح آب و درون آب تقسیم‌بندی شده است. نویز بالای سطح آب شامل صدای نامطلوب را می‌توان به دو منبع اصلی (موتور و بدنه) مربوط دانست [۲۰]. منابع تولید نویز در دریا نیز به دودسته اساسی تقسیم‌بندی می‌شود:

- ۱- نویزی که توسط وسایل نقلیه دریایی تولید می‌شود
 - ۲- نویز پس‌زمینه.
- بنابراین با توجه به مطالب بیان شده شناخت منابع تولید صوت و نحوه انتشار آن اولین قدم در شناخت نحوه شناسایی در زیر آب است و از طریق این شناخت و دسته‌بندی آن می‌توان در جهت شناسایی و کاهش نویز قدم برداشت [۲۳].



شکل ۱۳- نمودار دسته بندی منابع نویز

۸-۱- منابع تولید نویز در دریا

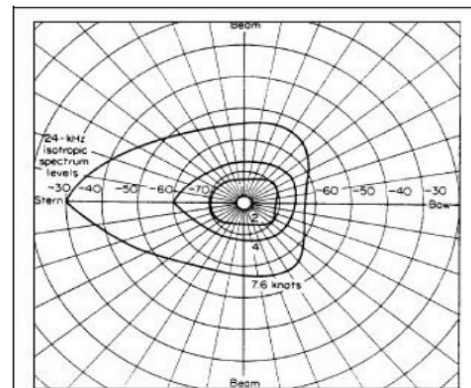
۸-۱-۱- منابع نویز کشتی

نویز شناورها بسیار چشمگیر است [۱۸]. در لنگرگاه‌ها و معابر ورودی بندر، نویز غالب، از سوی کشتی‌ها مخصوصاً شناورهای کوچک است که فرکانس نویز آن‌ها از چندین

کیلوهرتز فراتر می‌رود. به‌طور کلی منابع تولید نویز صوتی در کشتی را می‌توان به چهار دسته اصلی تقسیم کرد:

۱- موتورخانه (منبع اصلی حرکت، محور و قطعات متحرک موتور کشتی) ۲- پروانه (یا هر سیستمی که باعث پراکندگی آب شود) ۳- هیدروآکوستیک که در اثر عبور بدنه کشتی در آب ایجاد می‌شود. ۴- منابع مختلف تولید صدا در کشتی.

هر یک از این منابع دارای باند فرکانسی مخصوصی هستند و رفتارهای مختلفی را در شرایط مختلف از خود بروز می‌دهند [۲۳]. بیشترین اطلاعات در بازه ۱۰ هرتز تا ۲ کیلوهرتز وجود دارد (شکل ۱۳) البته در بقیه باندهای فرکانسی نیز اطلاعاتی وجود دارد. خصوصیات و شدت نویز صوتی که به‌وسیله کشتی تولید می‌شود به جهت شنیدن صدا نیز وابسته است. به‌طور معمول جهت انتشار از پاشنه یعنی محل قرار گرفتن پروانه به سمت دماغه است. (شکل ۱۳)

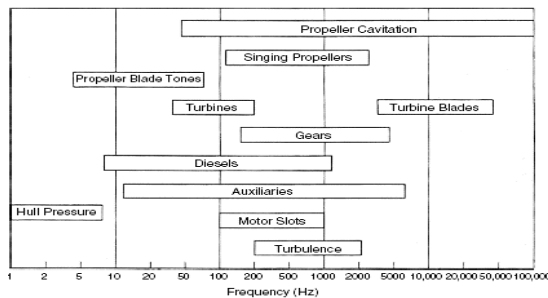


شکل ۱۳- جهت انتشار نویز صوتی شناور

۲-۱-۸- منابع نویز زیر سطحی

برای زیردریایی متحرک در دریا عوامل متعددی موجب ایجاد امواج آکوستیکی می‌شود. در زیردریایی‌ها دو مکانیزم تولید نویز وجود دارد که شامل این موارد است: نویزهای مکانیکی: موتور دیزل، ماشین‌های کمکی مثل پمپ و ژنراتور، جعبه دنده و سیستم انتقال قدرت، ارتعاش بدنه ناشی از عوامل مکانیکی. نویزهای هیدرودینامیکی: نویز تولیدی حاصل از تداخل بدنه شناور و سیال متحرک اطراف آن، نویز تولیدی حاصل از چرخش پروانه، نویز ناشی از ورتکس‌ها و گردابه‌های پشت جسم متحرک، نویز ناشی از تشکیل کاویتاسیون و انفجار حباب‌های آن، نویز ناشی از جریان‌های حباب‌دار مانند گازهای خروجی، ناحیه آشفته اطراف بدنه شناور این موارد غالب نویز را تولید می‌کنند.

منبع اصلی تولید نویز مکانیکی در آب، ارتعاش پوسته بدنه شناور است و عامل نویز هیدرودینامیکی حرکت جسم در سیال و نوسانات فشار سیال در اطراف شناور متحرک است. در نمودار شکل زیر دسته‌بندی عوامل مهم تولید نویز و محدوده فرکانسی هر یک نشان داده شده است [۲۳].



شکل ۱۴- دسته بندی عوامل مهم تولید نویز و محدوده فرکانسی هر کدام

۸-۲- نویزهای هیدرودینامیکی

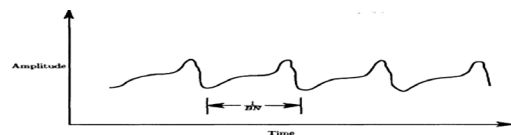
همان‌طور که اشاره شد نویزهای هیدرودینامیکی بیشتر بواسطه کاویتاسیون، جریان‌های حباب‌دار، گردابه‌های پشت جسم و جریان آشفته ایجاد می‌گردند. در صورت نبودن کاویتاسیون و جریان‌های حباب‌دار، نویز حاصل از جریان آشفته نسبت به نویز حاصل از ارتعاش بدنه از اهمیت کمتری برخوردار است. نویزهای حاصله در این قسمت بنا به دو دلیل ایجاد می‌گردند. اول به دلیل شکل هندسی جسم متحرک در سیال: در این حالت به دلیل رانده شدن سیال توسط جسم، فشار یکنواخت سیال اولیه به هم خورده و اختلاف فشار در قسمت‌های مختلف سیال ایجاد می‌گردد. دوم به دلیل نوع رژیم جریان در اطراف جسم: بسته به سرعت جریان و میزان آشفتگی آن، مقادیر نویز تولیدی متفاوت خواهد بود. همچنین بنا به شدت گردابه‌های پشت جسم یا میزان جدایش روی داده در بدنه، این مقدار متفاوت است. بنابراین بسته به خواص سیال، سرعت و مشخصات هندسی جسم می‌توان انتظار رفتارهای گوناگونی داشت. در این دسته یک جزء بسیار با اهمیت دیگر نیز وجود دارد و آن نویز مربوط به پروانه می‌باشد. نویزهای حاصل از حرکت پروانه در آب اثر غالب را در میان سایر منابع نویز شناور دارد. منبع اصلی تولید این نویز، جریان پیچیده در پشت پروانه است. این جریان‌ها که همراه ورتکس، رشد و انفجار کاویتاسیون می‌باشد، شناسایی نویزهای تولیدی را دشوار می‌کند [۱].

۸-۳- پروانه‌ها

پروانه‌ها از جنبه‌های مختلف از قبیل تعداد پره، شرایط عملکرد، شکل و مقطع پره و ... با یکدیگر تفاوت‌های بسیاری دارند؛ اما در حالت کلی از دید کیفی فرآیند تولید نویز در آنها تقریباً مشترک و یکسان است. اجزای اصلی نویز در پروانه‌ها عبارتند از نویز ضخامت (به دلیل جابجایی حجمی تیغه)، نویز بارگذاری پایا (به دلیل نیروی پایا روی تیغه‌ها)، نویز بارگذاری ناپایا (به دلیل بارگذاری غیر یکنواخت دایروی)، نویز غیرخطی یا چهارقطبی و آخرین منبع نیز نویز طیف گسترده است. میزان اهمیت هر یک از این منابع بستگی به شرایط عملکرد و طراحی دارد. البته مدلسازی عددی تا حدی با نتایج واقعی تفاوت دارد؛ زیرا به هر حال اعمال شرایط عملکردی واقعی مثل نوع جریان متلاطم و غیریکنواخت در نتایج نویز تاثیر دارد [۳].

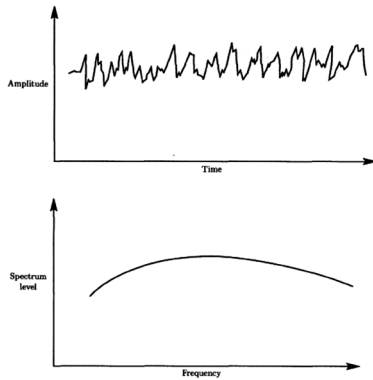
۸-۴- خصوصیات نویز پروانه

طیف فرکانسی در پروانه‌ها به سه دسته عمده تقسیم می‌شوند: طیف هارمونیک - طیف گسترده - طیف باریک تصادفی. نویز هارمونیک یک منبع نویز تکرار شونده در زمان است و نرخ آن ثابت است. فرکانس نویز هارمونیک یک پروانه با تعداد B پره و با دور چرخش N با عدد BN و پیروید آن با $1/BN$ مرتبط است. در شکل زیر نمودار این نوع برای یک پروانه به صورت شماتیک نشان داده شده است.



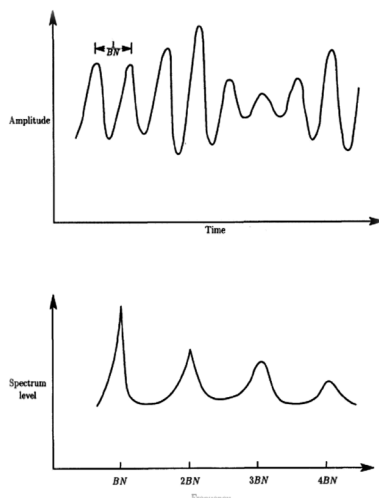
شکل ۱۵- خصوصیات نویز هارمونیک پروانه

نویز طیف گسترده شامل تمام فرکانس‌ها می‌تواند باشد. در شکل ۱۶ یک نمونه از این طیف نشان داده شده است. از خصوصیات این نوع طیف پیوسته بودن آن است.



شکل ۱۶- خصوصیات نویز با طیف گسترده

طیف باریک تصادفی نیز تقریباً پیرویدیک است. البته در این طیف فرکانس پیک کاملاً تصادفی است و در یک فرکانس قابل پیش‌بینی روی نمی‌دهد. همانطور که در (شکل ۱۷) نشان داده شده طیف ممکن است پیرویدیک به نظر برسد؛ اما مشخصات مهم طیف با زمان به طور معینی تکرار نمی‌شود.



شکل ۱۷- خصوصیات نویز با طیف باریک تصادفی

۹- تئوری و معادلات حاکم بر جریان سیال و نویز

معادلات ناویر-استوکس، یکی مدل ریاضی کامل برای سیال ارائه می‌دهند. به دلیل پیچیده بودن این معادلات در فرم کامل ناویر-استوکس، حل تحلیلی غیرممکن است، بنابراین روش‌های عددی به کمک رایانه بهترین گزینه برای حل بخشی از این معادلات می‌باشند. امروزه پیشرفت سریع در زمینه تکنولوژی رایانه سبب استفاده گسترده دینامیک سیالات محاسباتی در حل عددی مسائل جریان سیال شده است. با توجه به اینکه تمامی حل‌کننده‌های معادلات ساده‌سازی شده ناویر-استوکس نیازمند زمان

پردازش و حافظه زیادی می باشند؛ بنابراین مقداری ساده سازی در حل این معادلات برای کاهش منابع محاسباتی مورد نیاز، لازم است.

معادله بقای جرم

$$\rho/\partial t + \nabla \cdot (\rho U) \partial \quad (7)$$

معادله بقا مومنتوم

$$(\partial(\rho U))/\partial t + \nabla \cdot (\rho U \times U) = -\nabla p + \nabla \cdot \tau + S_M \quad (8)$$

$$\tau = \mu(\nabla U + (\nabla U)^T - 2/3 \delta \nabla \cdot U) \quad (9)$$

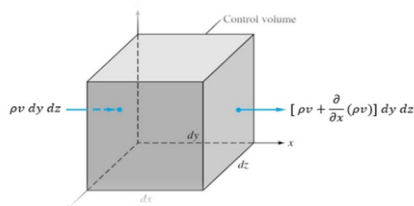
جهت مدل سازی سیال زمانی که چند فاز همزمان در مسئله وجود دارد روش های مختلفی موجود است. چند نمونه از مدل های پر کاربرد به شرح زیر می باشند:

مدل لاگرانژی: در این روش حباب ها با استفاده از مدل سازی مورد بررسی قرار می گیرند. این کار با محاسبه نیروهای وارد شده بر هر حباب انجام می شود. به همین دلیل، محاسبات عددی در هر گام زمانی بسیار طولانی می شود. در واقع در این روش برای سیال همان معادلات ناوراستوکس حل شده و برای حباب ها پس از محاسبه نیروهای وارده، معادلات حرکت آن در طول زمان انتگرال گیری و حل می شود. مدل اویلری: این مدل از روش های کلاسیک ریز کردن مش برای حل معادلات حاکم بر جریان و به دست آوردن شکل حباب ها و نحوه حرکت آنها می پردازد. در این روش مرز مشترک بین از مایع و گاز با استفاده از روش های *volume of fluid* و یا *level-set* استفاده می شود. مدل های هیبریدی: در مدل های هیبریدی، هر دو روش لاگرانژی و اویلری ادغام شده تا روش جدید ابداع شود.

۱-۹- معادله لایتهیل

انتشار صوت نیز همانند سایر پدیده های فیزیکی دارای معادلاتی هستند که به کمک آنها می توان نحوه انتشار صوت را با توجه به پارامترهای مختلف مشخص کرد. محققین همواره در تلاش بوده اند تا معادلات حاکم بر صوت و انتشار آن را استخراج نموده و با حل این معادلات، شدت صوت را در مکان و زمان مورد نظر محاسبه نمایند. از نخستین تحقیقاتی که در زمینه تولید و انتشار امواج آکوستیکی انجام شده است، تحقیقات رایلی- استوکس در

قرن ۱۹ میلادی است. آنها در تحقیقات خود با فرض ایده آل بودن جریان و منابع نوسانی جرم و نیرو، روابط خطی آکوستیکی را مورد مطالعه قرار دادند. این تحقیقات بعدها توسط لایتهیل در سال ۱۹۵۴ ادامه یافت و نخستین روابط کاربردی برای انتشار صوت استخراج شد. لایتهیل با استفاده از روابط اصلی حاکم بر جریان سیال یعنی روابط پیوستگی و مومنتوم، معادله کلی تولید صوت ناشی از تنش برشی سیال را استخراج کرد [۲۸]. او در این تحقیق تئوری تولید صوت آیرودینامیکی را برای نویز حاصل از انتشار جت در هوا ارائه کرد و نشان داد که صوت تولیدی توسط آشفتگی سیال را می توان با توجه به نوسانات سرعت سیال بدست آورد. این روابط بعنوان مبنای آیروآکوستیک مدرن شناخته می شوند. با توجه به اهمیت و کاربرد این روابط، در این بخش به نحوه استخراج این روابط از معادلات پیوستگی و مومنتوم پرداخته می شود [۲۹]. جریان عمومی v_i از حجم کنترل مکعب شکلی بصورت زیر عبور می کند.



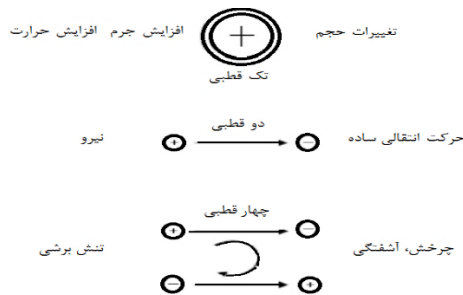
شکل ۱۸- دبی جرمی عبوری از حجم کنترلی در جهت محور x

که دبی جرمی عبوری از آن در جهت محور x در شکل نشان داده شده است. با نوشتن این دبی جرمی در هر سه راستا و جمع کردن آنها به معادله پیوستگی یا بقای جرم رسیده می شود. برای ناحیه ای از سیال که شامل منبع تولید صوت است. رابطه پیوستگی به شکل زیر نوشته می شود:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v) = \frac{D\rho}{Dt} + \rho \nabla \cdot v = 0 \quad (10)$$

این معادله شکل عمومی معادله بقاء جرم بوده و برای هر دو جریان تراکم پذیر و تراکم ناپذیر اعتبار دارد. جمله اول در سمت چپ، نرخ تغییرات چگالی در واحد زمان را بیان می کند و جمله دوم هم بیانگر جریان خالص عبوری از مرزهای المان است که عبارت جابجایی نامیده می شود. در

برای منابع تک قطبی می‌توان به نوسانات حبابهای موجود در سیال و کاویتاسیون اشاره کرد. انتشار صوت از تک قطبی‌ها در همه جهات یکسان است. ترم دوم $\nabla \cdot \dot{f}$ دیورژانس نیروی ناپایای اعمالی به سیال است که در بعضی از شرایط مرزی به سیال بر می‌گردد و به عنوان منبع نويز دو قطبی^۲ عمل می‌کند. منابع دو قطبی به صورت حرکت انتقالی ساده در سیال تغییر مکان می‌دهند. ترم سوم در بردارنده تنش توربولانس در داخل خود سیال است که توسط لایت هیل بدست آمد. وی نشان داد که این نوع منبع دارای خاصیت چهار قطبی^۳ است. چهار قطبی‌ها علاوه بر حرکت انتقالی حرکت چرخشی نیز دارند (شکل ۱۹). تقسیم بندی منابع تک قطبی، دو قطبی و چهار قطبی را به شکل شماتیک نمایش می‌دهد.



شکل ۱۹- نمایی از منابع پایه‌ای تولید صوت

در پروانه، نويز حاصل از جابجایی حجم آب و ناشی از برخورد پره‌های پروانه در سیال که به نويز ضخامتی نیز معروف است از نوع تک قطبی است. این نويز که حاصل جابجایی حجمی در سیال است در حالت کاویتاسیونی و غیر کاویتاسیونی وجود دارد. کاویتاسیون روی سطح پروانه مانند یک حباب بزرگ در حال نوسان عمل می‌نماید که با نوسانات خود منجر به تغییر در حجم سیال می‌شود. کاویتاسیون نیز از نوع منبع تک قطبی است که با نوسانات در سیال منجر به تولید نويز می‌شود. همچنین اختلاف فشار در قسمت فشاری و مکش پروانه مانند یک چشمه و چاه عمل می‌کند. این اختلاف فشار در قسمت جلو و پشت پروانه که به صورت چشمه و چاه است تحت عنوان یک منبع دو قطبی شناخته می‌شود. منبع دو قطبی نیز در دو حالت کاویتاسیونی و غیر کاویتاسیونی وجود دارد. در حالت

رابطه فوق، ρ چگالی سیال و v بردار سرعت در محیط سیال است. همچنین در صورتی که نیروی خارجی به سیال اعمال گردد معادله بقای مومنتوم برای سیال به صورت زیر خواهد بود:

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho(v \cdot \nabla)v = -\nabla p + \nabla \cdot \sigma \quad (11)$$

در این رابطه، p فشار ترمودینامیکی و σ مولفه ویسکوز تنسور تنش کوشی است. سرعت صوت در سیال با c نمایش داده می‌شود. با در نظر گرفتن یک سری فرضیات دیگر و صرفنظر از ترم گرانش و فرض آکوستیکی کوچک بودن پارامترهای آکوستیک در مقابل پارامترهای سیال رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$\frac{\partial^2 \rho'}{\rho t^2} - c^2 \frac{\partial^2 \rho'}{\partial^2 x_i} = \frac{\partial q'}{\partial t} + \frac{\partial f'_i}{\partial x_i} + \frac{\partial^2 \tau_{ij}}{\partial x_i \partial x_j} \quad (12)$$

طرف چپ این رابطه نشان دهنده رابطه خطی انتشار موج برای محیط همگن با سرعت صوت c بوده و طرف راست آن بیان‌کننده منابع تولید نويز در محیط سیال است. همچنین در این رابطه τ_{ij} نمایش دهنده تانسور تنش رینولدز حاصل از جریان توربولانس است. رابطه (۱۲) به رابطه لایت هیل معروف است که دربرگیرنده منابع شار جرم، نرخ نیروی اعمالی و تنش برشی در سیال است. در آکوستیک دریایی بیشتر به جای استفاده از نوسانات چگالی از نوسانات فشار استفاده می‌شود. بنابراین می‌توان رابطه (۱۳) را با فرض خطی بودن رابطه تنش- کرنش، ثابت بودن سرعت صوت در سیال و صرف نظر کردن از تغییرات مکانی کمیت‌های سیال (فشار، چگالی و دما) به دلیل کوچک بودن آنها به رابطه معادل فشار آکوستیکی تبدیل کرد که در این صورت:

$$\nabla^2 p' - \frac{1}{c^2} \ddot{p}' = \dot{q}' + \nabla \cdot \dot{f} + \frac{\partial^2 \tau_{ij}}{\partial x_i \partial x_j} \quad (13)$$

هر یک از ترم‌های تنسور تنش لایتهیل نشان دهنده یکی از منابع تولید صوت است یعنی ترم اول \dot{q}' بیان‌کننده تزریق جریان جرمی و یا حجمی غیر پایا به داخل سیال می‌باشد که به عنوان منبع نويز تک قطبی^۱ عمل می‌کند.

³ Quadruple source

¹ Monopole source

² Dipole source

غیرکاویتاسیونی مهمترین منبع تولید نویز پروانه، اختلاف فشار در جلو و عقب پروانه است. نوع دیگر نویز پروانه که به‌خصوص در ماخ‌های کمتر از ۰/۸ قابل صرف‌نظر است [۲۹]، نویز ناشی از اغتشاشات و تنش برشی در سیال است که در واقع به‌صورت دو، دو قطبی که در مجاور یکدیگر قرار گرفته‌اند عمل می‌نماید و به چهار قطبی معروف است.

۹-۱-۱- حل معادله لایتهیل

معادله لایتهیل اگرچه مقدار فشار آکوستیکی را بطور دقیق برحسب مشخصه‌های جریان و سیال بیان می‌کند اما حل این معادله جز در موارد خاص قابل دسترس نیست. محققانی که در زمینه آکوستیک فعالیت می‌کرده‌اند همواره سعی در حل کامل این معادله داشته‌اند. یکی از حل‌های ساده تحلیلی که برای معادله لایتهیل ارائه شده است، حل انتگرالی آن است. این روش حل نخستین بار توسط فاکس ویلیامز^۱ و دیوید هاوکینگز^۲ پیشنهاد شد و برای بدست آوردن فشار آکوستیکی در میدان دور دست قابل استفاده است. برای حل انتگرالی معادله (۱۴) که به معادله لایتهیل مشهور است از تابع گرین در دامنه آزاد استفاده می‌شود. بر اساس این روش، حل انتگرالی معادله لایتهیل بصورت زیر نوشته می‌شود:

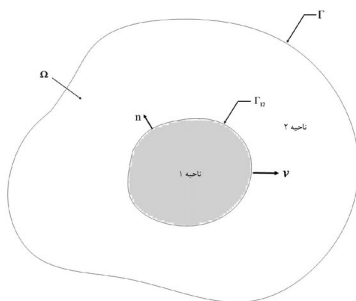
$$\rho(x, t) = \frac{1}{4\pi c^2} \rho_0 \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} \int \frac{T_{ij}(y, t - \frac{|x-y|}{c})}{|x-y|} \quad (14)$$

که در این رابطه دامنه انتگرال گیری روی حجم است که آشفتگی در آن باعث ایجاد نویز می‌گردد. این دامنه باید دربرگیرنده تمامی منابع تولید نویز باشد. همچنین x و y به ترتیب بردارهای مکان گیرنده نویز و منبع نویز می‌باشند. عبارت درون انتگرال معادله فوق باید در زمان چشمه^۴ محاسبه شود. از آنجا که فواصل بین منابع صوت و گیرنده یعنی $|x-y|$ متفاوت است، زمان رسیدن صوت به گیرنده از منابع مختلف با هم یکسان نیست. به همین دلیل مقدار زمانی $\frac{|x-y|}{c}$ به اندازه t از زمان کم می‌شود. با حل این انتگرال، تغییرات چگالی در مکان x و زمان t بدست می‌آید. معادله انتگرالی که در این بخش برای معادله

لایتهیل ارائه شد با این فرض بدست آمده است که هیچ گونه صفحه صلبی در مسیر جریان وجود ندارد [۲۹]. لذا برای حل آکوستیک پروانه، از معادله بهبود یافته‌ی لایت هیل استفاده می‌شود که در بخش بعد به این موضوع پرداخته شده است.

۹-۲- معادله FW-H

در اکثر مسائل آکوستیک، صفحات صلب واقع شده در مسیر جریان سیال اثرات بسیار مهمی بر روی نویز تولید شده دارند. درک این واقعیت در تحلیل صحیح نویز پروانه‌ها و فن‌ها بسیار مهم و حیاتی است. با توجه به این موضوع، ویلیامز و هاوکینگز روابط ساده شده بخش قبل را برای حالت وجود صفحات صلب توسعه دادند. معادلات ارائه شده توسط این محققین در علم آکوستیک به مدل FW-H 1 معروف شده است. اولین گام در رسیدن به مدل FW-H، توسعه معادله لایتهیل برای فضای نامحدودی است که توسط یک سری از صفحات ریاضی به بخشهای مختلف تقسیم شده است. مطابق شکل (۲۰) میدان Ω که با صفحه Γ احاطه شده، توسط صفحه Γ_{12} به دو ناحیه ۱ و ۲ تقسیم شده است. فرض می‌شود صفحه Γ_{12} با سرعت v درون ناحیه ۲ حرکت می‌کند که در واقع شبیه به حرکت پروانه در آب است [۳۰].



شکل ۲۰- تقسیم ناحیه Ω به دو ناحیه ۱ و ۲ [۳۰]

به دلیل ناپیوستگی که در محل صفحه Γ_{12} بوجود آمده است معادلات پیوستگی و مومنوم به ترتیب به صورت زیر بازنویسی می‌گردد [۳۰]:

¹ Ffowcs Williams- Hawkins (FW-H)

¹ Ffowcs Williams

² David Hawkings

۱-۲-۹- حل معادله FW-H

برای حل معادله FW-H، فراست و همکاران روشی را ارائه کردند که می‌تواند نویز ناشی از حرکت یک جسم با هندسه دلخواه را پیش بینی کند [۳۲]. این فرمولاسیون به $1A$ معروف است. آنها در این روش با بردن مشتق زمانی به داخل انتگرال، رابطه قبل را ساده‌تر کردند و با فرض ثابت بودن مکان گیرنده، مشتق زمانی را بصورت زیر تغییر دادند:

$$\frac{\partial}{\partial t} \Big|_x = \left(\frac{1}{1-M_r} \frac{\partial}{\partial \tau} \Big|_x \right)_{ret} \quad (19)$$

در این رابطه، M بردار عدد ماخ، r بردار بین منبع و گیرنده صوت و M_r تصویر بردار M بر روی بردار r و همچنین ret نشان دهنده زمان لازم برای انتشار نویز است. با صرفنظر کردن از منابع چهار قطبی، فشار آکوستیکی کل به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\hat{P}(x, t) = P'_T(x, t) + P'_L(x, t) \quad (20)$$

در واقع، فشار آکوستیکی کل به دو مؤلفه فشار ضخامت^۱ P'_T و فشار بارگذاری^۲ P'_L تقسیم می‌شود. این مؤلفه‌ها از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$(21)$$

$$4\pi P'_T(x, t) = \int \left[\frac{\rho v_n}{r(1-M_r)^2} \right]_{ret} dS + \int \left[\frac{\rho v_n (r M_i r_i + c M_r - c M^2)}{r^2 (1-M_r)^3} \right]_{ret} dS$$

$$4\pi P'_L(x, t) = \int \left[\frac{\dot{p} \cos \theta}{cr(1-M_r)^2} + \frac{\dot{r} i M_i \rho \cos \theta}{r(1-M_r)^3} \right]_{ret} dS + \int \left[\frac{p(\cos \theta - M_i n_i)}{r^2 (1-M_r)^2} + \frac{(M_r - M^2) \rho \cos \theta}{r^2 (1-M_r)^3} \right]_{ret} dS \quad (22)$$

دو معادله (۲۰ و ۲۱) در معادله (۲۱) برای بدست آوردن فشار آکوستیکی قرار می‌گیرند.

در این روابط، v_n مشتق زمانی v_n ، M_i مشتق زمانی عدد ماخ مربوط در یک نقطه ثابت، θ زاویه محلی بین بردار عمود بر سطح و جهت انتشار، p فشار نسبی روی سطح، \dot{p}

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = \rho v_i \delta(f) \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad (15)$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j + \bar{P}_{ij})}{\partial x_i} = P_{ij} \delta(f) \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad (16)$$

در رابطه فوق، v_i سرعت صفحه و f تابع نمایش‌دهنده وجود صفحه است. طبق قرارداد، ناحیه داخل صفحه با $f < 0$ ، ناحیه خارج از صفحه با $f > 0$ و خود صفحه با $f=0$ مشخص می‌شود. همچنین $\delta(f)$ تابع دلتای یک بعدی است که بر روی صفحه $f=0$ مقدار آن ۱ و خارج از صفحه مقدار آن صفر است. برای رسیدن به معادله FW-H، از معادلات پیوستگی و مومنتوم به ترتیب نسبت به زمان و مکان مشتق گرفته و معادلات حاصل از هم کسر می‌شود. با تغییر متغیر به نوسانات چگالی ρ' ، معادله FW-H به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$(17)$$

$$\frac{\partial^2 \rho'}{\rho t^2} - c^2 \frac{\partial^2 \rho'}{\partial^2 x_i} = \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left[P_{ij} \delta(f) \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]$$

حل انتگرالی این معادله برای نوسانات چگالی بصورت زیر بدست می‌آید [۳۱]:

$$(18)$$

$$\begin{aligned} \rho(x, t) &= \frac{1}{4\pi c^2} \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} \int \frac{T_{ij}(y, t - \frac{|x-y|}{c})}{|x-y|} dy \\ &- \frac{1}{4\pi c^2} \frac{\partial}{\partial x_i} \int \frac{P_{ij} n_j(y, t - \frac{|x-y|}{c})}{|x-y|} dy \\ &+ \frac{1}{4\pi c^2} \frac{\partial}{\partial t} \int \frac{\rho_0 v_n}{|x-y|} dy \end{aligned}$$

همانگونه که مشخص است این معادله علاوه بر اثرات آشفته‌گی جریان، نوسانات فشار و اثرات حرکت صفحات صلب را نیز بعنوان منابع تولید صوت در نظر می‌گیرد. جملات سمت راست این معادله به ترتیب از چپ به راست، منبع نویز چهارقطبی، دوقطبی و تک‌قطبی می‌باشند. در اعداد ماخ کمتر از ۱، منبع چهارقطبی مقدار بسیار کمتری نسبت به منابع دوقطبی و تک‌قطبی دارد و می‌توان از آن صرفنظر کرد [۳۰].

² Loading Pressure

¹ Thickness Pressure

[7] S. Sezen, T. Cosgun, A. Yurtseven, and M. Atlar, "Numerical investigation of marine propeller underwater radiated noise using acoustic analogy Part 2: The influence of eddy viscosity turbulence models," *Ocean Engineering*, vol. 220, p. 108353, 2021.

[8] G. Ku, J. Cho, C. Cheong, and H. Seol, "Numerical investigation of tip-vortex cavitation noise of submarine propellers using hybrid computational hydro-acoustic approach," *Ocean Engineering*, vol. 238, p. 109693, 2021.

[9] D. Noble, N. Sponagle, and L. Leggat, "DREA propeller cavitation research," UNCLASSIFIED L1~* Rb~ t I, p. 421, 1987.

[10] J.-H. Kao, "An inverse tracing method (ITM) to solve the radiating noise induced by the marine propeller sheet cavitation with experimental verifications," *Ocean Engineering*, vol. 234, p. 109240, 2021.

[11] A. Ebrahimi, A. Razaghian, A. Tootian, and M. Seif, "An experimental investigation of hydrodynamic performance, cavitation, and noise of a normal skew B-series marine propeller in the cavitation tunnel," *Ocean Engineering*, vol. 238, p. 109739, 2021.

[12] G. Dubbioso, R. Muscari, F. Ortolani, and A. Di Mascio, "Numerical analysis of marine propellers low frequency noise during maneuvering," *Applied Ocean Research*, vol. 106, p. 102461, 2021.

[13] W.-S. Choi et al., "Time domain broadband noise predictions for non-cavitating marine propellers with wall pressure spectrum models," *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, vol. 13, pp. 75-85, 2021.

[14] G. Tani et al., "Noise measurements of a cavitating propeller in different facilities: Results of the round robin test programme," *Ocean Engineering*, vol. 213, p. 107599, 2020.

[15] C. Park, G. Do Kim, G.-T. Yim, Y. Park, and I. Moon, "A validation study of the model test method for propeller cavitation noise prediction," *Ocean Engineering*, vol. 213, p. 107655, 2020.

[16] J.-H. Kao and Y.-J. Lin, "Predicting the dipole noises of the marine propeller with verifications by experimental measurements," *Ocean Engineering*, vol. 209, p. 107451, 2020.

[17] A. Ebrahimi, A. Razaghian, M. Seif, F. Zahedi, and A. Nouri-Borujerdi, "A comprehensive study on noise reduction methods of marine propellers and design

مشفق فشار نسبت به زمان $\dot{p} = \frac{\partial p}{\partial \tau}$ و n_i کسینوس جهت است.

۱۰- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

پدیده کاویتاسیون یکی از مسائل مهم در طراحی پروانه شناور است زیرا در صورت وقوع این پدیده ناخواسته ضمن کاهش راندمان، نیروی تراست و مزایای آکوستیکی پروانه، کشتی دچار فرسودگی می‌شود و در برخی موارد صدمات جبران‌ناپذیری می‌بیند. ورتکس نوک پره پروانه را می‌توان یکی از قوی‌ترین منابع تولید نویز، کاهش تراست و راندمان و عامل ارتعاشات القایی روی شدت معرفی کرد که با بهینه‌سازی نوک پره اعمال میزان سطح نویز را می‌توان تا حد مطلوبی کاهش داد. لذا بایستی فاکتورهای هندسی تأثیرگذار بر روی هندسه نوک پره برای رسیدن به این مهم بهینه گردند. با توجه به اینکه پروانه‌ها و پیشران‌های دریایی در سطح دنیا دوران رشد و تکامل خود را می‌گذرانند تحقیق و پژوهش بر روی آنها به جهت بهینه‌سازی هندسه آنها به منظور حذف یا کاهش پدیده کاویتاسیون و بهبود خواص آکوستیکی کارساز خواهد بود.

۱۱- مراجع

[1] H.v. Helmholtz, "Über Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen," 1858.

[2] D. Ross and W. Kuperman, "Mechanics of underwater noise," Ed: Acoustical Society of America, 1989.

[3] G.V. Frisk, "Noiseconomics: The relationship between ambient noise levels in the sea and global economic trends," *Scientific reports*, vol. 2, no. 1, pp. 1-4, 2012.

[4] E. Weitendorf, "On the history of propeller cavitation and cavitation tunnels," in *Fourth International Symposium on Cavitation*, 2001: California Institute of Technology Pasadena.

[5] Y. Wang, K. Wang, and M. Abdel-Maksoud, "noiseNet: A neural network to predict marine propellers' underwater radiated noise," *Ocean Engineering*, vol. 236, p. 109542, 2021.

[6] S. Sezen, D. Uzun, R. Ozyurt, O. Turan, and M. Atlar, "Effect of biofouling roughness on a marine propeller's performance including cavitation and underwater radiated noise (URN)," *Applied Ocean Research*, vol. 107, p. 102491, 2021.

cavitating tip-vortical flows around an elliptical hydrofoil: Interplay of cavitation, vortices, and turbulence," *Physics of Fluids*, vol. 33, no. 9, p. 093316, 2021.

[30] P. Pennings, J. Bosschers, J. Westerweel, and T. Van Terwisga, "Dynamics of isolated vortex cavitation," *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 778, pp. 288-313, 2015.

[31] L. Davidson, "Transport equations in incompressible URANS and LES," in Publication 2006/01, Chalmers University of Technology, 2006.

[32] P. Pennings, J. Westerweel, and T. van Terwisga, "Cavitation tunnel analysis of radiated sound from the resonance of a propeller tip vortex cavity," *International Journal of Multiphase Flow*, vol. 83, pp. 1-11, 2016.

procedures," *Applied Acoustics*, vol. 150, pp. 55-69, 2019.

[18] J. Carlton, *Marine propellers and propulsion*. Butterworth-Heinemann, 2018.

[19] S.R. Bistafa, "Investigation of a water turbine built according to Euler's proposals (1754)," arXiv preprint arXiv: 2108.12048, 2021.

[20] R. M. C. Pty, *Reducing underwater noise pollution from large commercial vessels*. International Fund for Animal Welfare, 2009.

[21] G. Zhang, D. Zhang, M. Ge, M. Petkovšek, and O. Coutier-Delgosha, "Experimental investigation of three distinct mechanisms for the transition from sheet to cloud cavitation," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 197, p. 123372, 2022.

[22] P. Rosales-Pelaez, I. Sanchez-Burgos, C. Valeriani, C. Vega, and E. Sanz, "Seeding approach to nucleation in the NVT ensemble: The case of bubble cavitation in overstretched Lennard Jones fluids," *Physical Review E*, vol. 101, no. 2, p. 022611, 2020.

[23] M. Fukushima, K. Fukuda, and T. Tachikawa, "Research of Root Cavitation Erosion," in the 9th Conference on Computational Methods in Marine Engineering (Marine 2021), 2022.

[24] E. Kadivar, M. V. Timoshevskiy, M. Y. Nichik, O. El Moctar, T. E. Schellin, and K. S. Pervunin, "Control of unsteady partial cavitation and cloud cavitation in marine engineering and hydraulic systems," *Physics of Fluids*, vol. 32, no. 5, p. 052108, 2020.

[25] A. Peters, "Numerical Modelling and Prediction of Cavitation Erosion Using Euler-Euler and Multi-Scale Euler-Lagrange Methods," Dissertation, Duisburg, Essen, Universität Duisburg-Essen, 2019, 2020.

[26] M. van Rijsbergen, "A review of sheet cavitation inception mechanisms," in 16th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, 2016.

[27] B. Aktas et al., "Propeller cavitation noise investigations of a research vessel using medium size cavitation tunnel tests and full-scale trials," *Ocean engineering*, vol. 120, pp. 122-135, 2016.

[28] H. Yang, S. Shen, X. Yao, M. Sheng, and C. Wang, "Competitive deep-belief networks for underwater acoustic target recognition," *Sensors*, vol. 18, no. 4, p. 952, 2018.

[29] C. Xie, J. Liu, J.-W. Jiang, and W.-X. Huang, "Numerical study on wetted and

تأثیر نوع بال در عملکرد قایق‌های پرنده

سعید جامعی^۱، رحمن فتاح^۲

۱- استادیار مهندسی دریا، دانشگاه خلیج فارس بوشهر، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی دریا

۲- کارشناسی ارشد مهندسی معماری کشتی، دانشگاه خلیج فارس بوشهر، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی دریا

چکیده:

قایق‌های پرنده، شناورهایی که با نیروی حاصل از پدیده اثر سطح یا دیواره، پرواز می‌کنند. این پدیده، از فشردگی هوای محبوس میان بال و سطح، که در مورد قایق‌های پرنده، این سطح دریاست، بوجود می‌آید. در این مقاله عملکرد قایق‌های پرنده تحت تأثیر هندسه بال، در سه مدل دو متری، مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. بال با سه نوع طرح پیشرو، پسرو و مستطیلی با زاویه نصب ۴ درجه به بدنه ثابت شده‌است. بدنه و دم شناور در هر سه مدل یکسان است. این مدل به گونه‌ای طراحی شده که از بال و بدنه یکپارچه در طرح آن استفاده گردد. زاویه پیشرو و پسروی بال ۴۵ درجه است. طراحی مفهومی با فرمت IGES در نرم‌افزار اتوکد صورت گرفته‌است. محاسبات عددی در نرم‌افزار star ccm+ با فرض جریان غیر یکنواخت، k Epsilone Tourbulent، و در دو فاز آب و هوا با مدل aulerian multi-phazes، شبیه‌سازی شده‌است. سطح آب آرام و بدون موج فرض گردیده‌است. پارامترهای بی‌بعد لیفت، درگ و گشتاور ایجاد شده هر سه مدل با هم مقایسه شده‌است. در بحث پایداری با قید پنج درجه آزادی، تنها پیچ هر سه شناور مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. از نمای سطح آزاد، کانتورهای فشار، تنش برشی و اصطکاک پوسته‌ای بر روی مدل و سطح آب در هر سه شبیه‌سازی آورده شده‌است. نتایج حاصل هر سه شبیه‌سازی با فرضیات اجسام پرنده و قوانین حاکم بر آیرودینامیک طرح‌های مختلف بال جمع‌بندی شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد. که نتایج حاصل برای طرح بال بهینه موردنظر، تعیین‌کننده بال با طرح مستطیلی است که در مقایسه با عملکرد آیرودینامیکی سایر طرح‌ها کارایی بیشتری دارد.

واژه‌های کلیدی:

قایق‌های پرنده، لیفت، درگ، گشتاور، فشار، کارایی

Effect of wing type on wigcraft performance

Saeed Jamei¹, Rahman Fattah²

1 Persian gulf university

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

Abstract

Wigcrafts are vessels that fly by force from surface or wall effect. This phenomenon arises from the compression of the trapped air between the wing and the surface, which in the case, this surface is the sea. In this paper, the performance of Wigcrafts under the influence of wing geometry is evaluated. The wing has been fixed with three types of progressive designs, swept forward, swept back and rectangular wing with 4° mounting angle to the body. The hull and tail of the vessel are the same in all three models. The angle of sweep forward and sweep back wing is 45 degrees. Conceptual design with IGES format in AutoCAD software. Numerical calculations are simulated in the star CCM+ software assuming a non-uniform flow, k Epsilone Tourbulent, and in two phases with the aulerian multi-phazes model. The surface of the water is flat and without waves. The dimensionless parameters of the lift, drag and torque of all three models were compared. In the discussion of stability, only the pitch of all three vessels is free. From the free surface view, pressure contours, shear stress and sheil friction are presented on the model and water level in all three simulations. The results of all three are similar. The results of all three simulations are summarized and examined by the assumptions of flying bodies and the aerodynamics laws of different wing designs.

Keywords

Wigcraft, Lift, Drag, Moment, Pressure.

کاربرد قایق‌های پرنده به عنوان وسایل شناوری که دارای بازدهی بسیار هستند، نیازمند شناسایی، سرمایه‌گذاری، تحقیق و توسعه زیادی است. وسایل پرنده‌ای که برای پر کردن خلا میان شناور و هواپیما، قادرند به پرواز درآیند، روی سطح دریا بدون نیاز به استحکامات فرودگاهی نشست و برخاست کنند و بار بیشتری را با صرف انرژی کمتر و ایمن‌تر جابجا نمایند. با وجود هزینه‌ای معادل ساخت شناور، کاربری هوایی آن بسیار مدنظر است. قایق‌های پرنده در مقایسه با سایر وسایل نقلیه، شامل خودرو و قطار از بازدهی خوبی برخوردار هستند. این بازدهی شامل سرعت و وزن قابل‌جابجایی، مصرف سوخت، و هزینه‌های ساخت خطوط مواصلاتی جاده و راه آهن نیز می‌شود [۱۳]. تحقیق و توسعه این فناوری حاصل تلاش‌های الکسیو روس و تیمش در سالهای ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۰ میلادی است [۳]. در ادامه راهی که اتحاد جماهیر شوروی با رهبری الکسیو شروع کرد کشورهای آلمان، چین، استرالیا و مالزی بیشتر از سایرین به این تکنولوژی پرداختند. در ادامه پارامترهایی از طراحی مفهومی قایق پرنده آورده شده است، که با کلی‌گویی از جریان سیال نیوتن و لئونارد اویلر به بررسی تاثیر مهم‌ترین جزء وسایل پرنده که بال است پرداخته شده است.

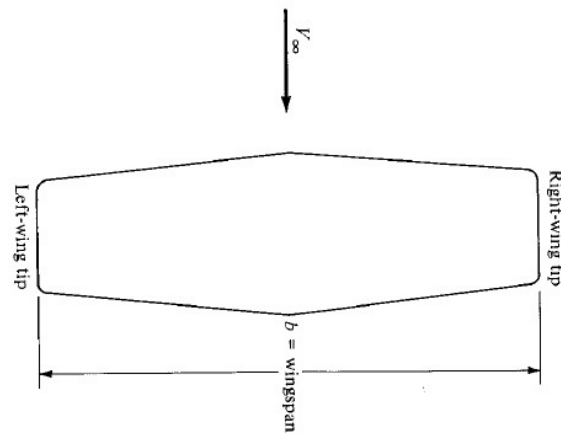
در قانون مربع سینوس نیوتن، با فرض برخورد سطح شیب‌دار با خطوط جریان، ذرات، مومنتم خود را به سطح انتقال می‌دهند و مومنتم مماسی حفظ می‌شود. این فرضیه بیانی از نیروی هیدرودینامیک روی سطح، که با مربع سینوس تغییر می‌کند را ارائه داده است. ولی در سال ۱۷۸۱ لئونارد اویلر ناسازگاری جریان مستقیم سیالی که بدون هشدار بر یک جسم وارد می‌شود را با رابطه نیوتن نشان داد. رفتار سیال در صورت برخورد به جسم به گونه‌ای است که قبل از رسیدن به جسم در امتداد سطح آن جریان یافته و به موازات آن عبور می‌کند. بدین ترتیب موضوع توزیع تنش برشی علاوه بر توزیع فشار بر سطح جسم مطرح گردید [۱]. بنابراین چنانچه در مسیر جریان، علاوه بر سطح اول سطح دیگری هم باشد که در فاصله مشخصی قرار گیرد تا سیال را در فاصله کمی دورتر تحت تاثیر سطوح قرار دهد لایه‌های سیالی که در امتداد سطح اول هستند با برخورد و انعکاس از سطح دوم با فشردگی بیشتری در امتداد آن حرکت می‌کنند و این فشردگی

نیرویی به سطح‌ها وارد می‌کند که چنانچه از ونتوری افکت صرف نظر شود نیروی قابل ملاحظه‌ای است. پدیده اثر دیواره، در عبور شناورها از کانال، توان زیادی به هدر می‌دهد، ولی در قایق‌های پرنده این اثر مورد استفاده قرار گرفته و در جهت هرچه بیشتر کردن آن بازدهی بیشتری بدست می‌آید. با در نظر گرفتن سطوح شامل، بال و سطح آب یا زمین، از این فشار برای ایجاد نیروی برا استفاده گردیده، که تحت عنوان کلی وسایل پرنده اثرسطحی شناخته شده‌اند.

در طراحی اجسام پرنده اهمیت در نظر گرفتن کارایی بال از اهمیت زیادی برخوردار است، آنچنان که نوع بال باید با اهداف طراحی اولیه همخوانی داشته باشد. در مورد هواپیما، محدوده سرعت پروازی، طرح‌های هندسی متفاوت برای نوع بال را ایجاد می‌کند، بسته به عدد ماخ هوای ورودی به بال، نسبت لیفت به درگ از اهمیت زیادی برخوردار است تا در سرعت‌های زیاد با افزایش لیفت نسبت افزایش درگ بیشتر نشود و همچنین برای بعضی هواپیماها در سرعت کم بتوان لیفت زیاد تولید نمود. همچنین کاربردهای آن شامل باری، مسافری و نظامی، بخش‌های دیگری به طراحی بال افزوده است. حتی در مورد زاویه حمله مورد نیاز برای مانورهای خاص هواپیما، بحث‌های مربوط به کنترل اتوماتیک برای پدیده استال بال‌ها قبل از دم در طرح‌های معمول و استال کانارد قبل از بال در طراحی کانارد در زوایای نصب خاص روی نوع بال بحث‌ها و مسائل فراوانی مطرح کرده است. پدیده گردابه‌های نوک بال متأثر از تفاوت کانتور فشار بالا و پایین بال، نوع دیگری از تغییرات در طراحی بال ایجاد کرده است که مباحث مربوط به پیچش هندسی و پیچش آیرودینامیکی برای کاهش این پدیده را بوجود آورده است. برای کنترل نسبت لیفت به درگ و جلوگیری از گردابه‌های القایی که درگ القایی ایجاد می‌کنند نسبت دیگری برای طراحی بال با تعریف نسبت مخروطی شکل گرفته است که این نسبت برای مقاومت‌های سازه‌ای که در طراحی جزئی بسیار مهم است نوع طراحی بال را تغییر می‌دهد. نسبت مخروطی عددی بی‌بعد از تقسیم طول وتر ایرفویل نوک بال به طول وتر ایرفویل ریشه بال بدست می‌آید. کلیه موارد تاثیرگذار در طراحی بال به نسبتی که شامل همه بخش‌های طراحی بال است با نام ضریب منظری وابسته است. این عدد بی‌بعد حاصل

تقسیم توان دوم فاصله دو انتهای بال به مساحت بال است.

$$AR = \frac{b^2}{s} \quad (1)$$



شکل ۱- نحوه محاسبه ضریب منظری [1].

تاثیر ضریب منظری بال شامل موارد زیر است:

۱- با افزایش ضریب منظری، بال به سمت بال بینهایت و توزیع بیضوی برا پیش می رود. لیفت افزایش یافته ولی بدلیل کم شدن یا ثابت ماندن تاثیر گردابه های نوک بال درگ القایی تغییر نمی کند و نسبت لیفت به درگ افزایش می یابد [1].

۲- با افزایش ضریب منظری سرعت استال کاهش می یابد که علت آن برابری لیفت و وزن هواپیما در سرعت کمتر با توجه به افزایش نسبت لیفت به درگ است. یکی از مزایای آن در این زمینه کاهش طول باند نشست و برخاست است [1].

۳- با افزایش ضریب منظری زاویه استال کاهش می یابد که تاثیر منفی در پایداری طولی وسیله پرنده دارد و از مانور پذیری آن می کاهد و مناسب هواپیماهای با مانور بالا که جنگنده ها هستند نمی باشد. زاویه بالاروی را کاهش می دهد [1].

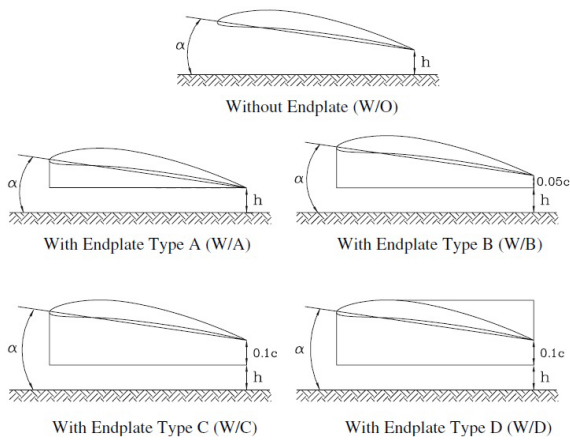
۴- از ضریب منظری در کنترل اتوماتیک جهت جلوگیری از استال وسیله پرنده استفاده می شود. بدین گونه که در طراحی معمول که شامل دم در انتهای وسیله پرنده می باشد، طراحی دم به گونه ای است که ضریب منظری آن کمتر از بال باشد تا در صورت از دست دادن لیفت بال در زاویه استال، دم کارایی خود را از دست ندهد و قابلیت کنترل حفظ گردد. ولی در طراحی کانارد که سطوح کنترل در جلوی بال قرار دارد ضریب منظری کانارد بیشتر از بال است تا در زاویه حمله ای قبل از زاویه

حمله استال بال، کانارد لیفت خود را ازدست بدهد و اجازه قرار گرفتن بال در زاویه استال را به خودی خود ندهد [1].

طرح بال قایق های پرنده نیز از عوامل بالا به شدت تاثیر پذیرند، رژدینسکی اثبات کرد که با در نظر گرفتن نسبت h/c به عنوان عدد بی بعد، تحت عنوان گراند کلیرنس برای بال بی نهایت اثر سطح را می توان ارزیابی نمود. بررسی ها نشان داد اثر سطح تا زمانی که نسبت بی بعد گراند کلیرنس به عدد 0.1 برسد وجود دارد و خارج از آن تاثیر بال به پرواز بی نهایت بر می گردد. h فاصله از سطح c کرد متوسط ایرفویل بال است. هرچه کرد بال افزایش یابد باعث افزایش مساحت سطح بال بدون افزایش فاصله دو انتهای آن شده و تاثیر نیروی اثر سطحی بیشتر مشهود است، پس ضریب منظری که با افزایش مساحت سطح کاهش یافته است، در قایق های پرنده بر خلاف سایر وسایل پرنده در افزایش برا متاثر از اثر سطح، موثرتر است، بدین گونه که با کاهش ضریب منظری میزان فشار هوای محبوس بین سطح و بال فرصت بیشتری در راستای کرد جهت اعمال نیروی رو به بالا دارد، هوا فشرده تر شده و کانتورهای فشار زیر و روی بال با اینکه از یکدیگر فاصله کمتری دارند ولی شدت زیادتری دارند، پس به دلیل برخورد جریان فرووزش با سطح، وارونه شدن یا تشکیل گردابه آن ها روی بال رخ نمی دهد و لیفت کاهش نمی یابد، که متعاقب آن درگ نیز افزایش ندارد [1].

روش انجام پژوهش کاملاً مقایسه ای است از طرح هایی که از نمونه های اصلی گرفته شده اند یا به صورت نوآورانه طراحی و رسم شده اند. به دلیل محدودیتی که در هزینه و زمان اجرای این کار وجود داشته، امکان ساخت نمونه اصلی از هر طرح وجود نداشته تا با انجام آزمایش مدل واقعی نتایج مقایسه گردند، ولی اهداف مقاله که تحلیل نرم افزاری بوده به خوبی برآورده شده است.

مهم ترین بخش هر تحلیل سیالاتی اطمینان به نتایج شبیه سازی است که باید با نتایج آزمایش تجربی همخوانی داشته باشد. برای این کار به دلیل محدودیت های زمانی و هزینه ها از نتایجی که سایرین از آزمایشات تجربی بدست آورده اند بهره برداری می شود که در این کار برای اطمینان از شبیه سازی نتایج آزمایشگاهی تجربی بال با سری NACA6409، با نتایج شبیه سازی



شکل ۲- شکل نشان دهنده طریقه قرار گرفتن صفحات

انتهایی. [14]

با انجام شبیه‌سازی از نمای جانبی تأثیر پرواز در فواصل مختلف عامل تغییرات سرعت در نواحی اطراف ایرفویل است، که همان تغییرات رینولدز جریان اطراف آن است و به خوبی از شکل‌ها مشخص می‌شود، کانتورهای سرعت نشان داده شده در ارتفاعات متفاوت برای راستی آزمایی، نشان دهنده تأثیر ارتفاع بر تغییرات اثر دیواره در پرواز نزدیک سطح است. برای زمانی که در محدوده‌های 0/025 و 0/05، 0/1، 0/15، 0/2، 0/25، 0/3 پرواز صورت می‌گیرد به خوبی از شکل مشخص است که قدرمطلق سرعت در ناحیه زیر بال از بالای بال کمتر است و در مکان‌هایی که سرعت نزدیک سطح است مثبت شده‌است، بدین معنی که جهت آن برخلاف جهت سرعت جریان آزاد سیال که هواست می‌باشد و نشان از تشکیل گردابه‌ها دارد که پرداختن به چگونگی عملکرد این گردابه‌ها در تولید لیفت از موضوع این پایان‌نامه خارج است. شکل (۳) گویای مطالب بالا هستند. [14].

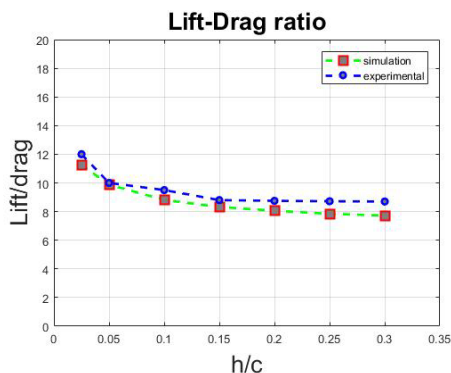
با قرار دادن مقادیر نسبت لیفت به درگ در یک شکل و رسم گراف مربوطه به نتایج قابل قبولی در مقایسه با آزمایش تجربی بدست آمده است و نشان از قابل اعتماد بودن تنظیمات نرم افزار جهت نیل به نتایج صحیح در شبیه‌سازی عددی در فصل‌های آینده دارد.

با مقایسه شکل (۴) که برگرفته از نتایج شبیه‌سازی عددی است با شکل (۱۰) در مقاله مرجع که از آزمایش تجربی سطح مقطع ایرودینامیکی با سری NACA6409 در تونل باد بدست آمده نزدیکی مقادیر و نحوه تغییر گراف یکسان و نزدیک هم بسیار مشهود است،

مقایسه می‌گردد. برای این ایجاد اطمینان، تنها به مقایسه شکل تغییرات میزان نسبت بی بعد لیفت-درگ در آن مقاله با نتایج آن در شبیه‌سازی اکتفا می‌گردد. از میان نمودارهای ترسیم شده نیز از آنجا که هدف اطمینان دهی از مقدار حاصل است بال در شبیه‌سازی با زاویه ۴ درجه تنظیم می‌گردد. نسبت بی بعد گراند کلیرنس که میزان ضرایب به نسبت تغییرات آن تغییر کرده با آن میزان که از نتایج تجربی حاصل شده مقایسه شده تا اطمینان از درستی نتایج، ملاک عمل انجام تنظیمات شبیه‌سازی قرار گیرد.

در این پژوهش، با آزمایش مقطع مورد نظر به صورت ایرودینامیک تجربی در پنج پیکربندی متفاوت که در شکل (۲) مشخص است نتایج در تونل باد بررسی گردیده‌اند. برای بسط کار آزمایشگاهی با اضافه کردن انواع صفحات انتهایی به بال مانند آن که در واقعیت قایق‌های پرنده وجود دارد تأثیرات آن بررسی گردیده‌است. بخش دیگر که تغییر داده شده‌است زاویه حمله مؤثر در زوایای ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ است که هدف آن نیز برای بدست آوردن تأثیر تغییر زاویه در نتایج نهایی و مقایسه آن بوده است. شکل‌هایی از جریان و آشفتگی با عکس برداری به توضیح چگونگی تأثیر پدیده اثر سطح پرداخته است. مقایسه ضرایب لیفت و درگ با تغییرات ارتفاع یا گراندکلیرنس در نمودارها آمده است. همچنین نتایجی که نشان دهنده تأثیر تغییر کمیت‌ها بر میزان نسبت لیفت-درگ است با رسم نمودار عنوان گردیده‌است.

برای انجام راستی‌آزمایی و تطابق نتایج آزمایش ایرودینامیک تجربی با نتایج شبیه‌سازی عددی مقایسه نسبت میزان لیفت-درگ کافی است. پس با در نظر گرفتن شکل در زاویه حمله ۴ درجه و گراند کلیرنس‌های 0/025، 0/05، 0/1، 0/15، 0/2، 0/25 و 0/3 بدون صفحات انتهایی این راستی‌آزمایی برای یک نمودار از هر دو آزمایش آورده شده‌است. اعداد ۱۰، ۱۲، ۱۰، ۹/۵، ۸/۸، ۸/۷۵ و ۸/۷۲ بدست آمده از آزمایش تجربی، اندازه نسبت لیفت به درگ را نشان می‌دهد که از شکل تغییرات نسبت لیفت-درگ برای زاویه حمله ۴ درجه بدون صفحات انتهایی حاصل گردیده‌است.

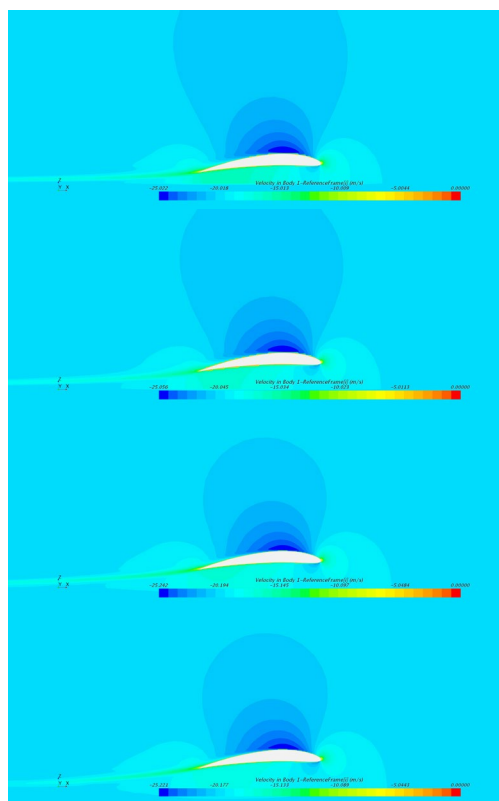


شکل ۴- مقایسه تغییرات اندازه نسبت لیفت به درگ در شبیه‌سازی در گراندکلیرنس های مختلف در شبیه‌سازی عددی و آزمایش تجربی.

۲- بررسی مدل‌ها

مدل‌های مورد بررسی در این مقاله با تغییر در شکل هندسی بال، به سه نوع مرسوم طراحی بال تقسیم بندی شده‌اند، که شامل بال مستقیم، بال پیشرو و بال پسرو است. مدل‌ها برای داشتن پیوستگی آیرودینامیکی به شکل بال و بدنه یکپارچه طراحی گردیده‌اند. هندسه سطح مقطع بال یا ایرفویل بال، با شماره ناکای چهار رقمی دلخواه ۲۳۰۴ ترسیم شده و بدون هیچ گونه پیش‌هندسی تا انتهای دوسر آن امتداد دارد. برای ترسیم بدنه از ایرفویل با ناکای ۳۱۰۱۰ استفاده شده سپس با وارونه کردن آن شکل بدنه مورد نظر ترسیم گردیده‌است. به دلیل اینکه ارزیابی بال در این شبیه‌سازی حائز اهمیت است جهت راحتی کار، بدنه بدین شکل طراحی گردید و برای هر سه مدل به صورت یکسان بکار رفت. برای یکپارچگی بال و بدنه همه سطح مقطع‌ها در اندازه‌های مختلف به یکدیگر اتصال داده شده‌اند. برای ایرفویل‌های تشکیل دهنده دم از ایرفویل متقارن با شماره ۰۰۰۴ این ترسیم انجام گردیده‌است.

و این امر با اصول راستی آزمایشی مدنظر همخوانی دارد پس نتیجه آزمایش تجربی و عددی تقریباً یکسان است، که قابل اعتماد بودن تنظیمات شبیه‌سازی عددی اثبات شده‌است. دقت گردد گرچه بخش‌های متفاوتی در آزمایش تجربی بررسی شده‌است ولی هدف مقایسه گراف W/O از آزمایش تجربی با شکل حاصل از آزمایش عددی است. عملکرد این گردابه‌ها در تولید لیفت از موضوع این مقاله خارج است.



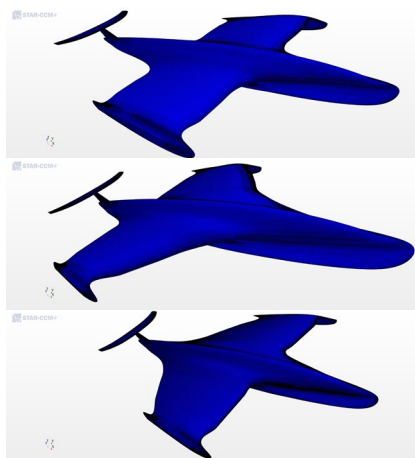
شکل ۳- شکل تغییرات سرعت متناسب با تغییرات ارتفاع پروازی به ترتیب حروف از 0/025, 0/05, 0/1, 0/15, 0/2, 0/25, 0/3

جدول ۱- نتایج حاصل از آزمایش شبیه‌سازی عددی.

گراندکلیرنس	لیفت	درگ	نسبت لیفت به درگ
0/025	73/65	6/55	11/33
0/05	65/9	6/67	9/88
0/1	57/9	6/57	8/8
0/15	53/6	6/44	8/32
0/2	51/9	6/44	8/05
0/25	49/9	6/36	7/8
0/3	48/1	6/23	7/72

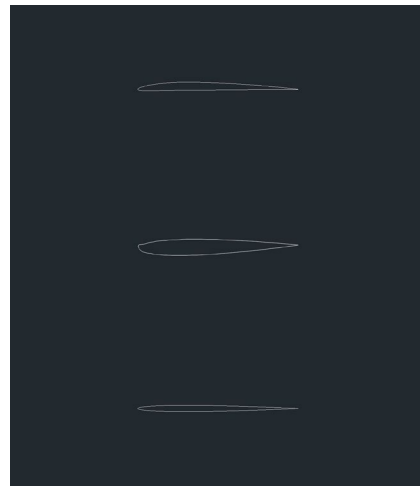
دانشمند آلمانی لپیش به صورت نمونه‌ای با بال پیشرو می‌باشد. مدل‌ها با فرمت IGES و سیستم متریک برای اندازه‌ها طراحی و از نرم افزار خروجی گرفته شده‌اند.

در نرم افزار star ccm + سطح آب، همانند مدل سه بعدی مش‌بندی شده‌است. با انتخاب بلاک مناسب که اثر دیواره‌ها در آن لحاظ شده‌است، مدل‌ها در جریان دو فاز آب و هوا قرار گرفته‌اند. این بلاک یک شش وجهی است که مدل را نیز در بر دارد. وجه عمود بر محور X ورودی جریان، وجه سمت راست مدل به عنوان سیمتریک، وجه عمود بر -X خروجی جریان در نظر گرفته شده‌است. با تنظیمات صورت گرفته، حد اکثر y^+ اندازه بی بعد شده نشان دهنده مش‌های بدنه مدل بال مستقیم ۰.۱۱۶۴۶۵۳، بال پیشرو ۰.۰۸۶۱۶۸۰۹ و بال پسرو ۰.۰۷۳۶۳۷۶۲ شده‌است، که مقدار مناسبی است. شرایط اولیه سرعت جریان سیال سبک‌تر که هواست، ۳۰ متربرثانیه و سرعت سیال سنگین‌تر که آب است، ۵ متر بر ثانیه لحاظ گردیده‌است. جرم مدل‌ها ۱۰ کیلوگرم در نظر گرفته شده‌است.



شکل ۷- نمای مش‌بندی بدنه.

y^+ برای بال مستقیم و بال پیشرو در زمان ۳ ثانیه که انتهای زیرین مش بدنه با مش سطح آزاد برخورد نموده و کانتور y^+ آن تشدید اختلاف تعداد مش در سطح را نشان داده‌است. علت آن هم ادغام مش‌ها در هم و پوشش نقاط بیشتری از شرایط اولیه مکانی است. در انتهای بال و دم به دلیل محل‌های برخورد و وجود تیزی برای پوشش بیشتر به صورت خودکار تعداد مش‌ها زیاد تر از سایر مناطق است. علت آن هم وجود تغییر جهت



شکل ۵- از بالا به پایین، سطح مقطع بدنه، سطح مقطع بال، سطح مقطع دم

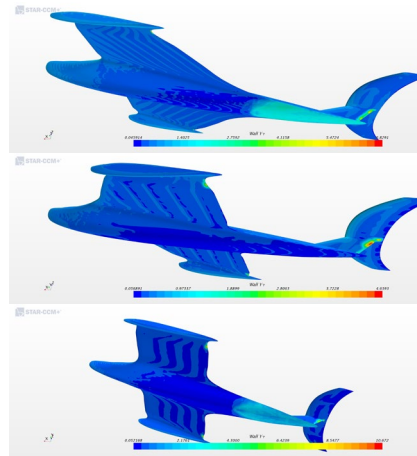


شکل ۶- نمای ایزومتریک طراحی مفهومی مدل‌ها از بالا به پایین به ترتیب بال مستقیم (STR)، بال پسرو (SWB)، بال پیشرو (SWF).

فاصله انتهای چپ و راست بال ۱ متر و طول مدل ۲ متر در نظر گرفته شده‌است. زاویه حمله بال که همان زاویه نصب آن به بدنه نیز هست ۴ درجه می‌باشد و بدنه به صورت کاملاً افقی ترسیم شده‌است. هندسه دم افقی و عمودی در هر سه مدل یکسان است و بدلیل اینکه پارامترهای تاثیرگذار آن در این مقاله مد نظر نیست پس تاثیر آن بر روی مدل‌ها مساوی است. نمای ایزومتریک هر سه مدل در نرم افزار اتوکد به صورت زیر است.

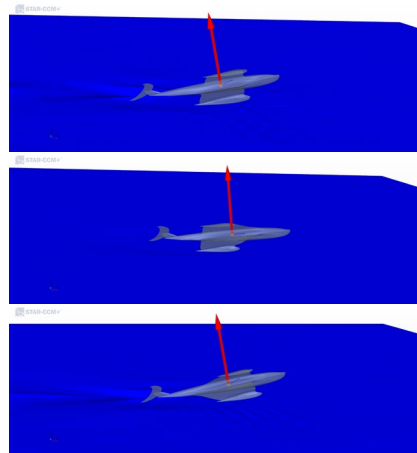
برای دو طرح بال مستقیم و بال پیشرو نمونه‌های واقعی طراحی و ساخته شده در تاریخ فناوری قایق‌های پرده موجود هست، که مهمترین این طرح‌ها اکرانوپلان معروف و شناخته شده مانستر دریای خزر، حاصل تلاش‌های آلکسیو و تیمش با بال مستقیم است و طرح‌های

سطح‌ها، تغییر شدید زوایا و شعاع انحناهای بال و بدنه و دم است.



شکل ۸- کانتور توزیع $\psi+$.

مش در نظر گرفته سطح آزاد آب، همان خواص مش‌بندی مدل‌ها را داراست. طول بلاک ۱۴ متر، عرض ۱۲ متر و ارتفاع ۸ متر است، طول مدل ۲ متر و فاصله نوک دو بال آن از هم نیز ۱ متر است. جهت مقایسه مدل‌ها کلیه درجات آزادی مدل‌ها، جز پیچ، قید شده‌اند و مدل‌ها در ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر از سطح ثابت شده‌اند. مرکز دوران نیز حول مرکز جرم در نظر گرفته شده‌است. برای درک بهتر چگونگی تنظیم شرایط مرزی شکل زیر موقعیت مدل نسبت به سطح پس از ۳ ثانیه و نحوه اختلاف عملکرد مدل‌ها را نشان داده‌است.



شکل ۹- نحوه قرار گیری مدل‌ها پس از گذر زمان ۳ ثانیه.

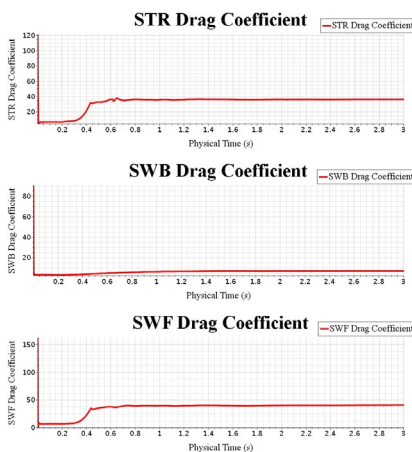
۳- نیروها

اهداف شبیه‌سازی شامل مقایسه عملکردهای مختلف مدل‌ها بوده است. نمایش این عملکردها شامل نمودارهای لیفت و درگ، ضرایب نیروهای لیفت و درگ، گشتاور و ضریب گشتاور پیچ و زاویه پیچ در نظر گرفته شده‌است. که

با مقایسه آنها برای هر مدل در مدت زمان ۳ ثانیه کارایی بیشتر هر مدل به خوبی مشخص گردیده‌است. میزان درگ ایجاد شده توسط هر کدام از طرح‌ها در انتخاب پیش‌برنده مناسب آن طرح از اهمیت زیادی برخوردار است. طبق رابطه زیر که درگ ایجاد شده در حالت پرواز کروز یعنی بدون شتاب را نشان داده‌است، اهمیت برآورد نیروی تراست لازم برای غلبه بر درگ بسیار حائز اهمیت است.

$$T = D \quad (2)$$

T نیروی پیشران و D نیروی درگ است، بر اساس ارتباط مستقیم بین این دو عامل تاثیرگذار، قدرت موتور تولید کننده نیروی پیشران را با داشتن درگ می‌توان ارزیابی نمود. مقایسه در شبیه‌سازی صورت گرفته با سرعت ثابت بدون شتاب که همان سرعت کروز است برای هر سه مدل سرعت جریان هوا و آب در شرایط یکسان است با مقایسه هر سه نمودار ضریب درگ، میزان قدرت موتور لازم برای ایجاد نیروی پیشران مشخص شده‌است. نیروی تولیدی مورد نیاز همان نیروی غلبه بر درگ است، پس مشخص شده‌است کدام طرح برای کارایی مدل شبیه‌سازی، نیروی کمتر برای این شرایط اولیه و در نتیجه پیشران ارزاتر و سبکتر با مصرف سوخت کمتر نیاز دارد و کاراتر است. نمودارها میزان این نیرو را به خوبی نشان داده‌اند. البته برای خطای کمتر در مقایسه، نمودار ضرایب نیروها آورده شده‌اند. نمودار نیروی درگ میزان افزایش نیروی تراست را نیز نشان داده‌است.



شکل ۱۰- نمودار ضریب درگ مدل‌ها، از بالا به پایین، بال مستقیم، بال پسر و بال پیشرو.

ونتوری افکت میان بدنه و آب، این پدیده کم شده و ثابت مانده تا درگ مقدار همگرایی بگیرد.

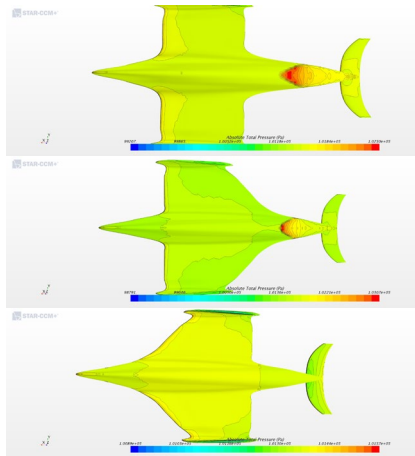
$$q_{\infty} = \frac{1}{2} \rho_{\infty} V_{\infty}^2 \quad (3)$$

$$C_d = \frac{D}{q_{\infty}} \quad (4)$$

$$D = \frac{1}{2} \rho_{\infty} V_{\infty}^2 S C_d \quad (5)$$

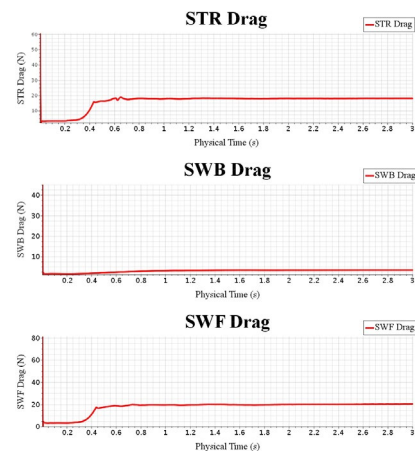
ماخ ورودی به ایرفویل هر بال برابر حاصل ضرب سرعت جریان آزاد در کسینوس زاویه پسروی است. برای بال‌های مستقیم و پیشرو این زاویه صفر است، پس ماخ ورودی به ایرفویل آن، همان سرعت جریان آزاد است؛ ولی برای بال پسرو با توجه به میزان زاویه پسروی، این مقدار کاهش یا افزایش دارد. بنابراین فشار دینامیکی در بال پسرو نسبت به دو نوع بال دیگر کاهش یافته و متعاقب آن درگ کمتری دارد. از این نظر یک مزیت محسوب می‌شود. ولی در مورد سایر عملکردها بررسی‌های لازم صورت گرفته‌است. شکل‌ها نشان دهنده کانتور فشار بر روی بدنه مدل‌ها و همچنین سطح آزاد آب، چگونگی این فشار را نشان می‌دهند.

نیروهای درگ و لیفت که در ادامه آورده شده‌است از تاثیر فشار عمودی و تنش برشی بر سطح ایجاد می‌شوند و کانتورهای فشار و تنش برشی که در شکل‌های زیر نشان داده شده‌اند، بیانگر این اصل هستند. از کانتورهای فشار به خوبی مشخص است، سطح زیرین بال و بدنه تحت تاثیر فشار بیشتری نسبت به سطح رویه آن قرار گرفته‌است و نیرویی به سمت بالا ایجاد نموده است.



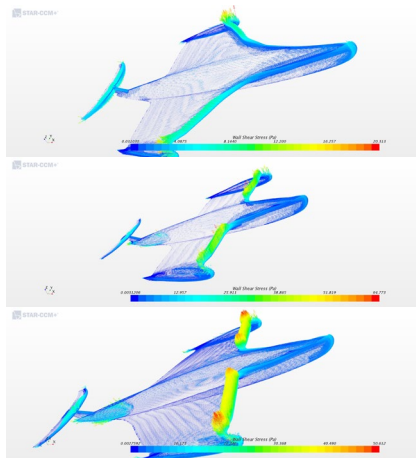
شکل ۱۲- کانتور فشار، نمای از پایین مدل‌ها.

ضریب درگ عددی بی بعد که از تقسیم نیروی درگ بر حاصل ضرب فشار دینامیکی در مساحت بدست آمده است. البته این تعریف برای ضریب لیفت نیز صادق است. فشار دینامیکی ارتباط مستقیم با توان دوم سرعت جریان و چگالی سیال دارد. سرعت جریان عمودی برخورد کننده با سطح و زاویه‌ای که سطح با جریان می‌سازد در میزان این فشار تاثیر دارد. برای مدل‌های مورد مطالعه از آنجا که ماخ ورودی عمودی به لبه حمله بال‌ها برای مدل‌ها متفاوت است، میزان درگ فشاری ایجاد شده در هر بال با یکدیگر فرق دارند. برای مدل‌های با بال مستقیم و پیشرو، جریان با حداکثر زاویه برخورد روی بال‌ها اثر می‌گذارد، بنابراین همانگونه که در شکل مشهود است، نمودارها درگ بیشتری برای بال مستقیم و بال پیشرو نسبت به مدل با بال پسرو، نشان می‌دهند. این تفاوت در ضریب درگ برای بال مستقیم و بال پیشرو نیز به میزان کمی است، علت آن ضریب منظری بالاتر بال پیشرو نسبت به بال مستقیم است.

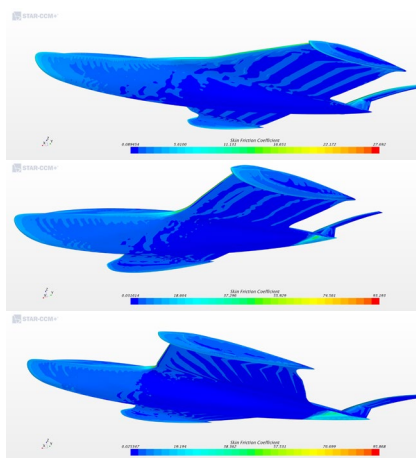


شکل ۱۱- نمودار درگ مدل‌ها، از بالا به پایین، بال مستقیم، بال پسرو و بال پیشرو.

با اینکه در این شبیه‌سازی نیروی درگ شامل نیروهای درگ القایی و برشی می‌شود، ولی به دلیل تاثیر مستقیم هندسه بال برای تولید درگ فشاری، در تشریح رفتار آیرودینامیکی مدل‌ها تنها به چگونگی ایجاد درگ فشاری اکتفا شده‌است. نوسانات مشاهده شده در نمودار مربوط به لحظه برخورد قسمت انتهایی بدنه به سطح آب در اثر گشتاور پیچ است، که در لحظه برخورد درگ را افزایش داده ولی با گذر زمان و دور شدن از لحظه برخورد، در اثر جریانی که در امتداد پوسته حرکت می‌کند و پدیده

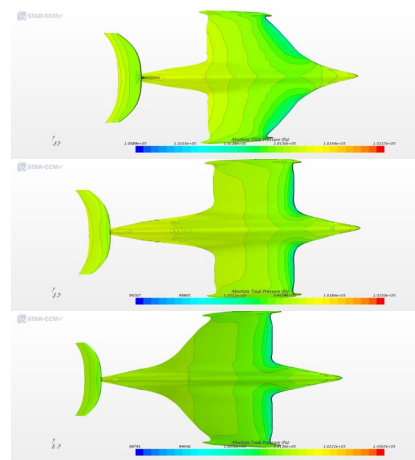


شکل ۱۴- تاثیر تنش های برشی روی مدل‌ها.



شکل ۱۵- کانتور توزیع اصطکاک پوسته‌ای.

در مورد تنش های برشی ایجاد شده بر اثر جریان ورودی به بال بیشترین اثر آن در لبه حمله قابل مشاهده است، که با توجه به زاویه دار بودن لبه حمله در مدل با بال پسرو، تنش برشی با شدت کمتری نسبت به دو مدل دیگر ایجاد شده است و متعاقب آن درگ و لیفت کمتری در این سرعت و شرایط مرزی تولید خواهد نمود. ولی شدت افزایش تنش برشی در لبه حمله و محل انتها زیرین بدنه که با آب تماس داشته بدلیل ویسکوزیته بیشتر آب، برای دو مدل بال پیشرو و مستقیم کاملا مشهود است که اثرات آن بر لیفت و درگ قابل درک است.



شکل ۱۳- کانتور فشار، نمای از بالای مدل‌ها.

نمودارهای لیفت تولیدی مدل‌ها در اشکال زیر نشان داده شده‌اند. میزان لیفت تولیدی مدل بال مستقیم و بال پیشرو بسیار نزدیک یکدیگر است و با توجه به نمودارهای لیفت آن‌ها، در این مدل نیروی لیفت لازم برای پرواز در این سرعت، ایجاد شده است، وزن مدل ۱۰ کیلوگرم است، پس نیروی لیفت بالای ۱۰۰ نیوتن می‌تواند آن را خنثی کند و مدل به پرواز درآید. درحالی که در نمودار مدل بال پسرو، در این سرعت قادر به تامین این مقدار نیروی لیفت برای غلبه بر وزنش نبوده است و چنانچه حرکت هیو این مدل قید نبود ارتفاع آن کم می‌شد.

$$L = W \quad (6)$$

$$q_{\infty} = \frac{1}{2} \rho_{\infty} V_{\infty}^2 \quad (7)$$

$$C_L = \frac{L}{q_{\infty}} \quad (8)$$

$$L = \frac{1}{2} \rho_{\infty} V_{\infty}^2 S C_L \quad (9)$$

تنش برشی با ایجاد اصطکاک پوسته‌ای مدل‌ها را تحت تاثیر قرار داده که در شکل‌ها کاملا مشخص است، در محل‌هایی که شدت تنش برشی وجود دارد، میزان اصطکاک پوسته نیز تشدید شده است، نظیر لبه حمله بال، دم و سطح برخورد به سیال با ویسکوزیته بیشتر، که در شکل کاملا قابل مشاهده است. میزان قابل ملاحظه‌ای از درگ در اجسام پرنده بخصوص در سرعت‌های زیاد ناشی از همین اصطکاک پوسته‌ای است.

از آنجا که در نرم افزار محدوده نوار وضعیت برای اندازه‌ها به صورت اتوماتیک تنظیم شده میزان نشان داده شده در نوار وضعیت نشان از شدت اختلاف آن بخش دارد که در اینجا فشار است. هر چه اختلاف حداکثر و حداقل فشار بیشتر باشد درگ و لیفت بیشتری تولید شده است. میزان لیفت ایجاد شده با درگ کمتر توسط مجموعه بال و بدنه برای غلبه بر نیروی وزن، مهمترین عامل کارایی وسیله پرنده محسوب می‌شود.

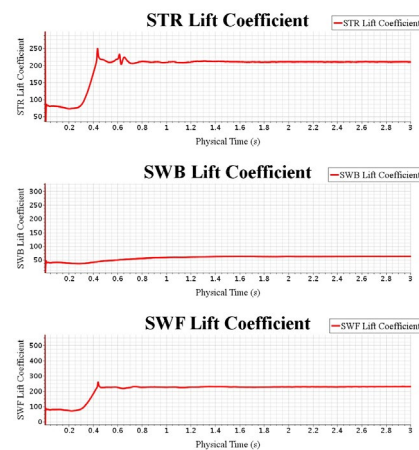
مدل‌های بال مستقیم و بال پیشرو با امکان فراهم شدن برخورد عمودی سیال به لبه حمله بال آن‌ها، همانند درگ، که پیشتر عنوان شد، مناسب ایجاد لیفتی برابر یا بیشتر از وزنش است. پس مدل بال مستقیم و بال پیشرو مناسب قایق‌های پرنده تشخیص داده شده‌اند. از مقایسه این دو مدل نیز بال مستقیم با نیروی لیفت بیشتری که تولید می‌کند مناسب‌تر است، ولی به دلیل نوسان بیشتر آن که ناشی از پیچ شناور در فاز شناوری انتهایی زیرین است، تا رسیدن به همگرایی در لیفت از مدل بال پیشرو از مزیت کمتری برخوردار است. این نوسانات در هر دو مدل قابل مشاهده است. در نمودارهای بعد تاثیر این نوسانات در رسیدن به پایداری بررسی شده است.

۴- پایداری

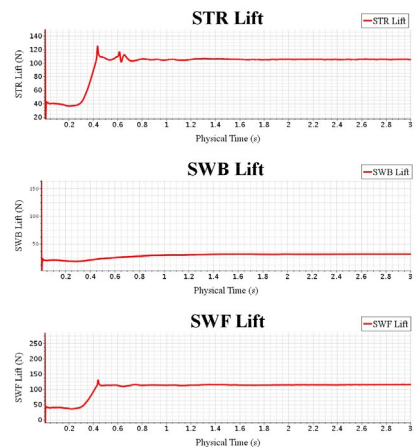
پایداری ویژگی یک سیستم در بازگشت به حالت اول پس از اعمال اغتشاش است. در مدل‌ها اغتشاش، تغییر نیروهای آیرودینامیکی و افزایش زاویه پیچ تا برخورد نوسانی انتهایی زیرین مدل‌ها به کف آب را شامل شده است و نمودارها این توانایی بازگشت به حالت اولیه پس از نوسان را نشان داده است. پایداری هم دو نوع است که شامل پایداری استاتیکی یا تمایل ذاتی وسیله پروازی در بازگشت به حالت تعادل پس از اغتشاش و پایداری دینامیکی به معنی قابلیت تحصیل حالت تعادل در طول زمان است؛ به عبارت دیگر پایداری یک فرایند است.

مکانیک پرواز شامل بررسی حرکت اجسام پرنده تحت تاثیر نیروها و گشتاورهای وارده است که در درجات آزادی مختلف شامل سه درجه آزادی حرکت انتقالی و سه درجه آزادی حرکت زاویه‌ای این تحلیل صورت پذیرفته است. نیروها شامل نیروهای آیرودینامیکی برا و پسا، نیروی پیشران و نیروی وزن است [5]. مکانیک پرواز به سه مبحث هدایت و برنامه ریزی مسیر، پایداری و کنترل و قابلیت‌های پروازی تقسیم بندی شده است. از آنجا که قایق‌های پرنده در دو فاز شناوری و پروازی تحت تاثیر نیروهای متفاوتی قرار می‌گیرند، ولی در مقایسه مدل‌های موجود تنها در فاز پروازی بخش‌های تاثیرگذار بررسی شده‌اند، به مکانیک پرواز مدل‌ها در شاخه پایداری پرداخته شده است. برای انجام محاسبات معیاری که اندازه‌ها نسبت به آن با دقت زیادی در درجات آزادی مختلف

در پرواز مستقیم الخط با سرعت کروز رابطه برابری وزن و نیروی لیفت، صدق می‌کند. برای قایق‌های پرنده اگر در ارتفاع مشخصی از سطح، افزایش لیفتی بیش از وزن آن‌ها ایجاد شود، منجر به افزایش هیو شده تا جایی که در این سرعت مشخص با فاصله گرفتن از سطح نیروی لیفت کاهش یابد و لیفت با وزن برابر شود. ولی در شبیه‌سازی صورت گرفته به دلیل قید حرکت هیو این امکان (افزایش ارتفاع) وجود ندارد و همه بخش‌های کارایی تحت این شرایط با همگرایی در نمودارها مشخص کننده خواص هر مدل است.



شکل ۱۶- نمودار ضریب لیفت مدل‌ها، از بالا به پایین، بال مستقیم، بال پسرو و بال پیشرو.



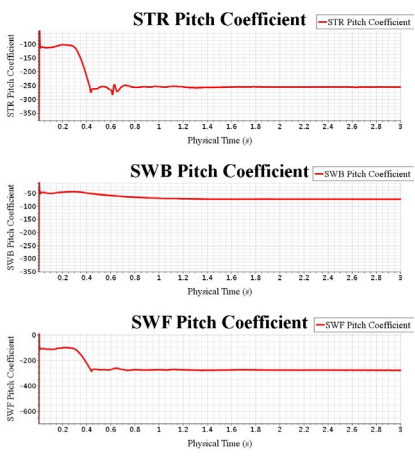
شکل ۱۷- نمودار لیفت مدل‌ها، از بالا به پایین، بال مستقیم، بال پسرو و بال پیشرو

با مقایسه نمودار لیفت و ضرایب آن برای مدل‌ها، مدل بال پسرو در این سرعت، به دلیل عدم ایجاد لیفت مورد نیاز پرواز، از معایب مدل سازی بال به این شکل برای قایق پرنده، با مشخصات پروازی فرض شده است. ولی

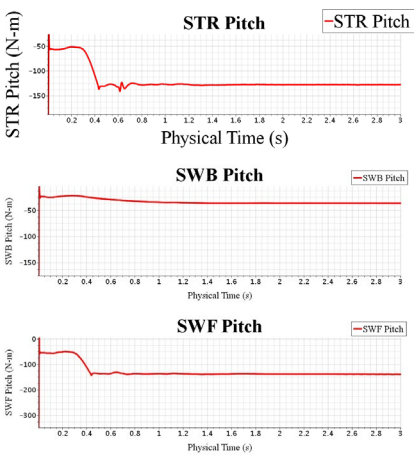
قابل بیان باشد، نیازمند شناساندن آنها در دستگاه‌های مختصات گوناگون است.

دستگاه‌های مختصات شامل دستگاه مختصات اینرسی، دستگاه مختصات بدنی، دستگاه مختصات زمین ثابت و دستگاه مختصات قائم همراه می‌باشد. با در نظر گرفتن دستگاه مختصات بدنی با مرکزیت مرکز جرم در مدل‌ها، دلیل همراستا بودن حرکت مدل‌ها با صفحات XZ و عمود بودن بر صفحه YZ و XY، درجات آزادی حرکت انتقالی هیو و درجه آزادی پیچ مورد توجه است. پس کلیه درجات آزادی، در نرم افزار + star ccm قید شده‌اند. ولی در قدم بعدی به دلیل مقایسه مدل‌ها با یکدیگر در ارتفاع خاص، حرکت هیو نیز قید گردیده‌است. گشتاور پیچ با افزایش زاویه حمله‌ای که ایجاد می‌کند باعث افزایش نیروهای آیرودینامیکی و همچنین خود گشتاور و زاویه پیچ شده‌است. در شکل‌های ۱۷ و ۱۸ در مقایسه مدل‌ها با هم نتایج حاصل آمده است. علامت منفی اندازه‌ها با قانون دست راست اندازه‌گیری گشتاورها همخوانی دارد.

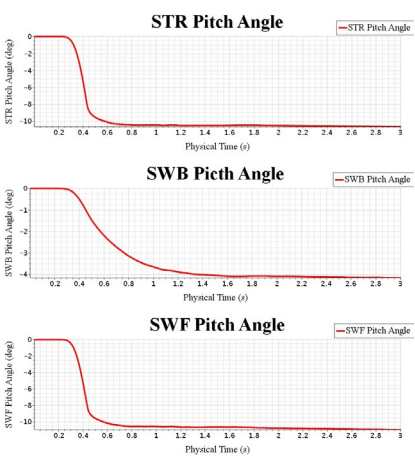
با بررسی مدل‌ها همان گونه که در تحلیل نیروها آمده بود، دو مدل بال مستقیم و بال پیشرو که نیروهای آیرودینامیکی بیشتری ایجاد کرده اند با اعمال گشتاور پیچ بیشتر، میزان دوران بیشتری حول محور Y داشته‌اند، این زاویه پیچ باعث افزایش زاویه حمله و افزایش سطح برخورد به جریان هوا و کاراتر شدن این دو نوع طراحی بال شده‌اند. ولی بال پیشرو برخلاف مدل‌های دیگر با ناچیز بودن نیروها و متعاقب آن گشتاور کمتری که تولید نموده است، میزان زاویه پیچ و روند افزایشی زاویه حمله کمتر از مدل‌های دیگر است. از زمان برخورد انتهایی مدل‌های بال مستقیم و بال پیشرو با سطح آب، از آنجا که حرکت پیچ در فاز شناوری شناورها، نوسانی است، به خوبی از نمودار آن‌ها، این نوسان تا لحظه رسیدن به همگرایی و پایداری مشهود است. البته توجه شود این مقایسه مخصوص شرایط مرزی خاص این شبیه‌سازی است. برای همه نمودارها ضرایب بی بعد پارامترها بیشتر مدنظر است، ولی با توجه به یکسان بودن اندازه مدل‌ها نمودار واقعی پارامترها برای هر مدل آورده شده‌است، که نشان دهنده توانایی پرواز مدل‌های با بال بهینه و عدم امکان پرواز در این سرعت برای بال پیشرو است.



شکل ۱۸- نمودار ضریب گشتاور پیچ مدل‌ها، بالا به پایین، بال مستقیم، بال پیشرو و بال پیشرو



شکل ۱۹- نمودار گشتاور پیچ مدل‌ها، از بالا به پایین، بال مستقیم، بال پیشرو و بال پیشرو



شکل ۲۰- نمودار میزان زاویه پیچ مدل‌ها

۵- نتیجه گیری

پرواز وسایل پرنده در محدوده زیر صوت، نیازمند بهره‌وری حداکثری از سرعت جریان آزاد برای تولید لیفت هستند،

[7] Dilitis, N. D., PERFORMANCE AND STABILITY OF A WINGED VEHICLE IN GROUND EFFECT University of Rome "La Sapienza", Rome, Italy.

[8] Cui, Erjie., Zhang, X., Ground Effect Aerodynamics, China Academy of Aerospace Aerodynamics, Beijing, China School of Engineering Sciences, University of Southampton, Southampton, UK.

[9] Nilsson, E., Airfoil Optimization through Differential Evolution October 22/2017

[10] Wei Yang* WIG craft serves niche transportation needs Shanghai Automotive Wind Tunnel Centre, Tongji University, Shanghai 201804, China E-mail: david_yangwei@yahoo.cn.

[11] Paul A. Czysz Department of Aerospace & Mechanical Engineering, Saint Louis University, St. Louis, MO 63103-1110, USA E-mail: paulczysz@sbcglobal.net

[12] Geok Hean AM90 Wing In Ground (WIG) Aircraft – Aerodynamics Submitted by Ng Department of Mechanical Engineering In partial fulfilment of the requirements for the Degree of Bachelor of Engineering National University of Singapore Session 2004/2005.

[13] Wei Yang WIG craft serves niche transportation needs Article in World Review of Intermodal Transportation Research August 2011.

[14] Experimental investigation of wing-in-ground effect with a NACA6409 section, Kwang Hyo Jung Æ Ho Hwan Chun Æ Hee Jung Kim, Received: 4 October 2007 / Accepted: 25, April 2008 / Published online: 12 August 2008_ JASNAOE 2008

برای این منظور حداکثر زاویه برخورد لبه حمله بال با سیال ورودی در طراحی وسایل پرنده از اهمیت زیادی برخوردار است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نیز مؤید این موضوع است که زاویه پس‌گرایی بال در ایجاد لیفت قایق‌های پرنده که سرعت پروازی آنها در محدوده‌های پایین است کارایی چندانی ندارد. پس بهینه‌ترین طرح، طراحی با بال مستقیم یا بال پیشرو است. بال پیشرو به دلیل بخش زیبایی طرح نهایی، توانسته یکی از الزامات طراحی را برآورده نماید ولی راندمان کمتری از بال مستقیم دارد و ممکن است برای کاربردهای نظامی که بهره‌وری بیشتر از هر چیز مدنظر است، بهترین گزینه نباشد. طرح‌های بزرگ تاریخ هوانوردی قایق‌های پرنده مانند مانستر دریای خزر از نمونه‌های بارز این طرح است که در بخش نظامی قابلیت‌های خوبی از خود نشان داده‌است. ولی قابلیت رادار گریزی و پایداری بیشتر طرح پیشرو به دلیل زاویه اینهدرال بال، نسبت به بال مستقیم از مزایای آن به شما می‌رود. از مقایسه طرح‌ها، بال مستقیم به دلیل هزینه‌های کمتر و آسان‌تر ساخت و کاربرد، بهترین گزینه برای ساخت سازه قایق‌های پرنده است.

مراجع

- [1] اندرسون، جان دی، اصول آئرو دینامیک، صدر عاملی، مسعود، مترجم، مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه امام حسین (ع).
- [2] Wei, Yang., Cheng, Jiong Ying., Zhigang, Yang., Aerodynamic study of WIG craft near curved ground, Shanghai Automotive Wind Tunnel Center, Tongji University, Shanghai, China.
- [3] Liang, Yun. Bliault, Alan. Doo, Johnny. WIG Craft and Ekranoplan Ground Effect Craft Technology, Springer New York Dordrecht Heidelberg London, May 2009.
- [4] Chun, H.H., Chang, C.H., Longitudinal stability and dynamic motions of a small passenger WIG craft, Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Pusan National University, September 2001.
- [5] Anderson, J. D., AIRCRAFT PERFORMANCE AND DESIGN, Tata McGraw-Hill Edition 2010.
- [6] Hiemcke, C., Design of a wing section in ground effect, application to high speed ground transportation Iowa State University.

مقایسه اثر پنهان‌نگاری بر محتوای دیتای ارسالی در

استانداردهای کدگذار صوتی MELP، CELP و LPC

پوریا اعتضادی^{۱*}، سعید طلعتی^۲، محمدرضا حسنی آهنگر^۳، مهدی ملازاده^۴

۱- استادیار، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، ۲- دانشجوی دکتری، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، ۳- استاد، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، ۴- استادیار، دانشگاه جامع امام حسین(ع)

چکیده:

پنهان‌نگاری یکی از مهم‌ترین روش‌های انتقال امن اطلاعات حساس در دنیای جنگ الکترونیک است، همچنین پنهان‌نگاری داده‌های صوتی با توجه ظرفیت و پیچیدگی بالاتر، نسبت به سایر روش‌های پنهان‌نگاری که آن را شبیه به آنتروپی می‌کند مورد توجه و علاقه پژوهشگران حوزه امنیت اطلاعات قرار می‌گیرد. در این پژوهش کدینگ کدگذارهای صوتی CELP، LPC و MELP شکسته شده که به‌عنوان یک نوآوری مهم در حوزه امنیت ملی اطلاعات و جنگ الکترونیک مطرح می‌شود، چراکه این کدگذارها جزو قدرتمندترین روش‌های کدگذاری صوتی هستند که توسط نیروهای ناتو برای انتقال صوت مورد استفاده قرار می‌گردند. در روش پیشنهادی این مقاله از تبدیل ویولت برای پنهان کردن داده‌ها در بیت کم‌ارزش استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی و ارزیابی مطابق جدول ۱ نشان می‌دهد این روش با توجه به مقاومت بالا نسبت به سایر روش‌ها امنیت زیادی دارد و مقایسه این سه کدگذار بیانگر آن است که روش MELP دارای امنیت بالاتری نسبت به بکدیگر هستند.

واژه‌های کلیدی: پنهان‌نگاری، SNR، LPC، CELP، MELP

Comparing the Effect of Steganography on the Content of Transmitted Data in LPC, CELP, and MELP Audio Encoder's Standards

Pourya Etezadifar^{*1}, Saeed Talati², Mohammad Reza Hassani Ahangar³, Mahdi Molazade⁴

- 1- Assistant Professor, Faculty of Electrical Engineering Department, Imam Hossein University, Tehran, Iran
Email: petezadifar@ihu.ac.ir (Corresponding Author)
- 2- PhD Candidate, Faculty of Electrical Engineering Department, Imam Hossein University, Tehran, Iran
- 3- Professor, Faculty of Electrical Engineering Department, Imam Hossein University, Tehran, Iran
- 4- Assistant Professor, Faculty of Electrical Engineering Department, Imam Hossein University, Tehran, Iran

Abstract

Information security is one of the most important issues today, which always receives the attention of many researchers. The purpose of steganography is to hide secret messages in a non-secret file so that it appears that no information is hidden in the carrier medium. Generally, steganography is one of the secure communication methods whose purpose is to hide information in the context of data and content; although audio steganography is not so widespread compared to image encryption, audio data can provide high capacity and due to its high complexity, it behaves like entropy, which makes these types of signals unrecognizable. The simulation and evaluation results of this article show the high security of the proposed method; by checking the SNR of the proposed method compared to other methods in Tab 1, we can conclude that this method is very robust. Also, by comparing the three examined encoders, it can be seen that the MELP method has the highest level of security, followed by the LPC and CELP methods.

Keywords: Steganography, Audio Encoder, LPC, CELP, MELP.

۱- مقدمه

روش کدگذار صوتی پیش‌بینی خطی^۱ یکی از متداول‌ترین روش‌های کدگذار صوت است که صدای آنالوگ به دیجیتال با ۲۴۰۰ بیت بر ثانیه تبدیل می‌کند. این کدگذار صوتی یکی از روش‌های قدرتمند تجزیه و تحلیل با کیفیت بالاست که تخمین‌های بسیار دقیقی از پارامترهای صوتی ارائه می‌دهد [۱].

استاندارد کدگذار صوتی پیش‌بینی خطی برانگیخته از کد^۲ صدای آنالوگ را به صدای دیجیتال با ۴۸۰۰ بیت بر ثانیه تبدیل می‌کند. این روش دارای کیفیت بالایی است و از آن در کدگذار گفتار صوتی MPEG-4 استفاده می‌شود [۲].

روش کدگذار صوتی روش پیش‌بینی خطی تحریک مختلط یکی از متداول‌ترین روش‌های کدگذار صوت است که صدای آنالوگ به دیجیتال با ۲۴۰۰ بیت بر ثانیه تبدیل می‌کند. از این روش عمدتاً در برنامه‌های نظامی و ارتباطات ماهواره‌ای، انتقال صوت امن و امنیت ارتباطات دستگاه‌های رادیویی استفاده می‌شود [۶]. در ادامه روش پیشنهادی پنهان‌نگاری در این سه کدگذار تشریح خواهد شد [۳].

۲- پنهان‌نگاری

روش‌های پنهان‌نگاری برای پنهان کردن یک پیام به‌طور نامحسوس در داخل علائم دیگر به کار می‌روند. اصل و اساس پنهان‌سازی، استفاده از فضاهایی از حامل اطلاعات هست که به هویت حامل لطمه وارد نکند. اطلاعات پنهان شده بدون اینکه ضرری به علائم وارد کنند، درون آن پنهان می‌شوند. حامل پیام می‌تواند صوت، تصویر، فیلم یا متن باشد [۴]. به‌منظور ارزیابی منطقی عملکرد انواع روش‌های پنهان‌نگاری، سه نیازمندی متداول امنیت، ظرفیت و نامحسوس بودن که معیارهایی برای میزان عملکرد روش‌های پنهان‌نگاری است بررسی می‌شوند با توجه به اینکه این سه معیار کیفی هستند نیاز است تا با استفاده از معیار SNR به ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی بپردازیم که در ادامه این معیار تشریح می‌شود.

کدگذارهای صوت عموماً در نرخ بیت‌های کمتر از ۴/۸ کیلوبیت بر ثانیه استفاده می‌شوند. هدف اصلی کدگذارهای

صوت^۳ (برخلاف کدگذارهای موجک^۴ که هدفشان به‌دست آوردن سیگنال گفتار با شبیه‌ترین حالت ممکن به سیگنال اصلی با حداکثر میزان سیگنال به نویز است) ساخت گفتار مصنوعی است که دارای کیفیت مشابه سیگنال اصلی باشد.

۳- معیار سیگنال به نویز (SNR)^۵

یکی از ویژگی‌های پنهان‌نگاری غیرقابل مشاهده بودن (نامحسوس بودن) است. منظور از غیرقابل مشاهده بودن توسط انسان این است که یک فرد عادی با شنیدن به صوت اولیه و صوت حاوی پیام نتواند بین دو صوت تفاوتی قائل شود. از آنجاکه این معیار دقیق نیست باید معیاری تعریف شود تا توسط آن بتوان کارایی الگوریتم‌ها را در زمینه حفظ امنیت بسنجیم که این معیار SNR است و این مقیاس نشان‌دهنده میزان نویز اضافه‌شده به صوت پنهان‌نگاری در اثر تعبیه اطلاعات در صوت اصلی است. واحد این معیار db بوده و هرچه مقدار SNR بیشتر باشد صوت حاوی پیام پنهان‌نگاری از کیفیت ظاهری بهتری برخوردار است. SNR از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$SNR = 10 \log \frac{s^2}{(s-sw)^2} \quad (1)$$

در این رابطه، s سیگنال حامل و sw سیگنال پنهان‌نگاری شده است. [۵]

۴- روش پیشنهادی^۶

اکثر روش‌های پنهان‌نگاری به روش دامنه زمانی از تکنیک کدگذاری بیت کم‌ارزش استفاده می‌کنند [۵]. این روش یکی از اولین و ساده‌ترین روش‌هاست که برای پنهان کردن اطلاعات به دلیل ظرفیت و شفافیت بالا به‌طور گسترده استفاده مورد استفاده قرار می‌گیرد [۶]. هرچند استفاده از صدا به‌عنوان یک رسانه میزبان برای پنهان‌نگاری در مقایسه با پنهان‌نگاری تصویری آن‌چنان محبوب نیست [۷]؛ اما داده‌های صوتی می‌توانند ظرفیت بالاتری را برای پنهان کردن داده‌ها فراهم کنند. از دیگر مزایای LSB ترکیب آن با سایر تکنیک‌های پنهان‌نگاری است [۸]. در این مقاله و با استفاده از نرم‌افزار متلب به شبیه‌سازی

5 Bit Error Rate
6 LSB: least significant bit

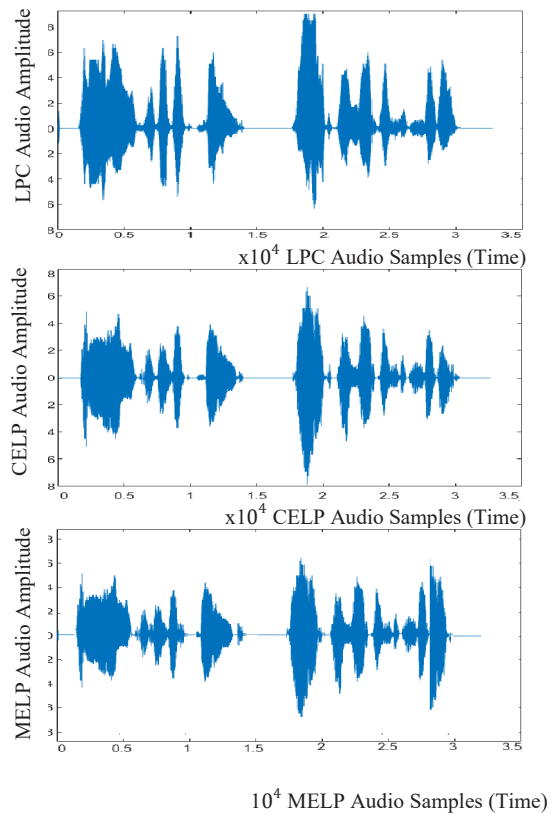
1 Linear Predictive Coding
2 FEDERAL STANDARD 1016
3 Voice Coders
4 Wavelet Coders

در این مقاله از یک تصویر با 256×256 برای پنهان کردن در سه صدای موردنظر استفاده شد.

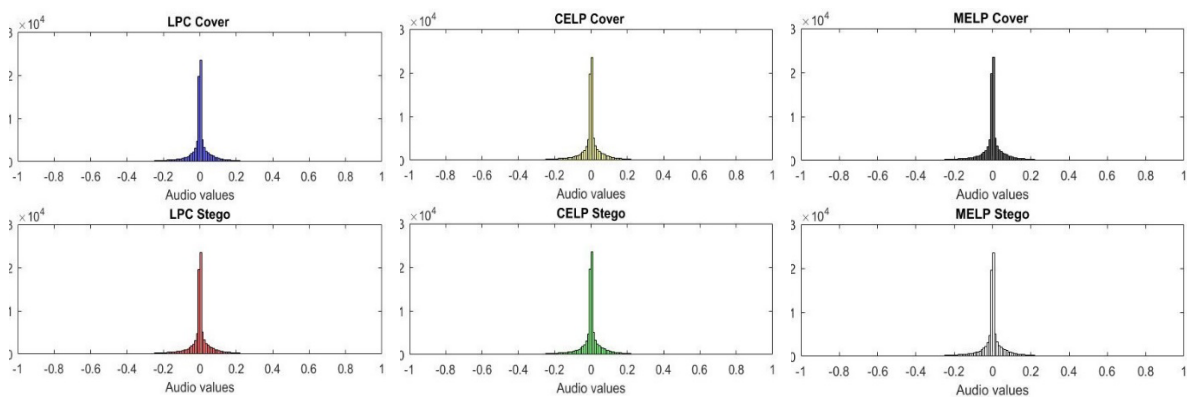
الگوریتم اولیه برای پنهان‌نگاری با استفاده از تبدیل ویولت در بیت کم‌ارزش به‌صورت زیر است:

- از تصویر حامل تبدیل ویولت گرفته می‌شود.
 - ضرایب تبدیل ویولت تصویر میزبان به باینری تبدیل می‌گردند.
 - تصویر لنا به کد اسکی^۱ تبدیل می‌گردد.
 - رشته بیتی باینری تصویر لنا در لابه‌لای ردیف‌های یکی از چهار جزء تبدیل ویولت پنهان می‌گردد.
 - از ضرایب حاصل تبدیل ویولت معکوس گرفته می‌شود و صوت حامل پیام به‌دست می‌آید.
- مقایسه خروجی هیستوگرام سه کدگذار صوتی LPC، CELP و MELP پس از پنهان‌نگاری به روش بیت کم‌ارزش پیشنهادی در این سه کدگذار صوتی در شکل ۲ آورده شده است.

سیگنال صوتی در سه کدگذار صوتی LPC، CELP و MELP پرداختیم که شکل ۱ هیستوگرام خروجی طیف گفتار در سه استاندارد کدگذار صوتی LPC، CELP و MELP نشان می‌دهد.



شکل ۱- خروجی‌های هیستوگرام طیف گفتارهای (MELP, CELP, LPC)



شکل ۲- مقایسه خروجی هیستوگرام سه کدگذار صوتی LPC، CELP و MELP پس از پنهان‌نگاری به روش پیشنهادی

با مقایسه هیستوگرام خروجی نمی‌توان به تشخیص پنهان‌نگاری رسید. لذا این روش از مقاومت بالایی برخوردار

با توجه به شباهت هیستوگرام خروجی صدای پنهان‌نگاری و بدون پنهان‌نگاری می‌توان نتیجه گرفت که

میزان SNR روش‌های مختلف پنهان‌نگاری با روش پیشنهادی پس از اعمال پنهان‌نگاری را نشان می‌دهد.

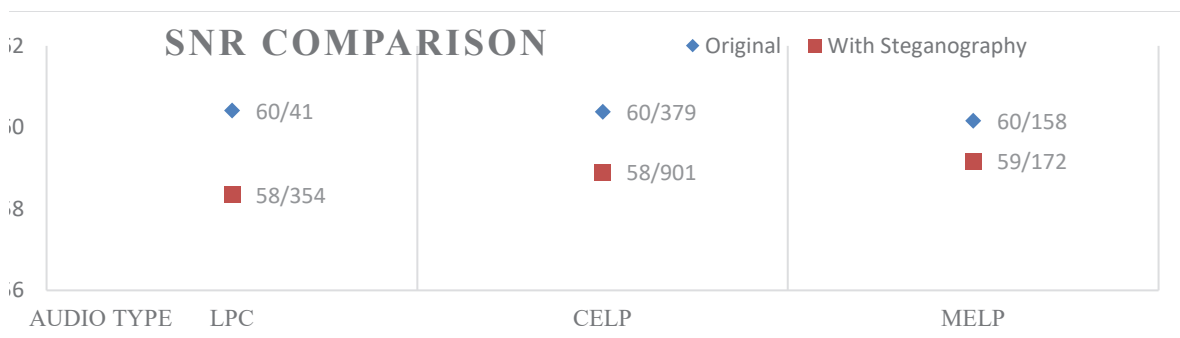
است ولی با توجه به اینکه این بررسی کیفی است نیاز است تا با استفاده از معیار SNR به ارزیابی عملکرد این استانداردها و مقایسه آن‌ها بپردازیم. جدول ۱ نتایج مقایسه

جدول ۱- مقایسه میزان SNR روش‌های مختلف پس از پنهان‌نگاری

میزان SNR	الگوریتم مورد بررسی
۳۶	Steganographic Techniques and their use in an Open Systems Environment[9]
۳۹	Increasing robustness of LSB audio steganography using a novel embedding method.[10]
۴۲	Increasing Robustness of LSB Audio Steganography by Reduced Distortion LSB Coding.[11]
۳۹	Adaptive Digital Audio Steganography Based on Integer Wavelet Transform.[12]
۴۹	High-Quality Audio steganography by Floating Substitution of LSBs in Wavelet Domain.[13]
۵۵	Hiding Text In Audio Using Multiple LSB Steganography And Provide Security Using Cryptography.[14]
۳۶	Wavelet-Based Steganographic Method for Text Hiding in an Audio Signal. Sensors.[15]
۵۸	A Robust Data Embedding Method for MPEG Layer III Audio Steganography.[16]
۵۰	An audio steganography by a low-bit coding method with wave files.[17]
۶۰.۴۱۰	LPC
۶۰.۱۵۸	CELP
۶۰.۳۷۹	MELP

پنهان‌نگاری و بدون وجود پنهان‌نگاری در این سه استاندارد پرداخته شده است تا متوجه شویم کدام یک از این سه استاندارد پس از پنهان‌نگاری عملکرد بهتری خواهند داشت.

همان‌طور که در مقایسه SNR در جدول شماره ۱ دیده می‌شود روش پیشنهادی در برابر سایر روش‌های بررسی شده دارای مقاومت بالاتری است. در ادامه و در شکل ۳ به مقایسه مقادیر SNR در حالت‌های باوجود



شکل ۳- مقایسه تغییرات مقادیر SNR استانداردهای کدگذار صوتی LPC, CELP, MELP بعد از اعمال پنهان‌نگاری

یک‌صدا انتخاب شد و با استفاده از این سه کدگذار شبیه‌سازی گردید؛ در ادامه برای افزایش امنیت انتقال پیام یک روش پنهان‌نگاری بر مبنای بیت کم‌ارزش با استفاده از تبدیل ویولت انتخاب و بر روی این سه استاندارد استفاده

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله استانداردهای کدگذار صوتی LPC, CELP و MELP کاملاً تشریح و با استفاده از نرم‌افزار متلب

- least significant bit modification technique for audio steganography, International Conference on Computer Networks and Information Technology, July 2011.
7. H. Liu, J. Liu, R. Hu, X. Yan and S. Wan, "Adaptive audio steganography scheme based on wavelet packet energy," in IEEE International Conference on High Performance and Smart Computing (HPSC), 2017.
 8. Samir Kumar, Bandyopadhyay Barnali, Gupta Banik, LSB Modification and Phase Encoding Technique of Audio Steganography Revisited, International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, Vol. 1, Issue 4, June 2012.
 9. Bao, Ma, "Steganographic Techniques and their use in an Open Systems Environment", Bret Dunbar, The information Security reading Room, SANS Institute 2002.
 10. N. Cvejic and T. Seppanen, "Increasing robustness of LSB audio steganography using a novel embedding method," International Conference on Information Technology: Coding and Computing. Proceedings. ITCC 2004, Las Vegas, NV, USA, 2004, pp. 533-537 Vol.2, doi: 10.1109/ITCC.2004.1286709.
 11. Cvejic, N. and Seppänen, T., 2005. Increasing Robustness of LSB Audio Steganography by Reduced Distortion LSB Coding. J. Univers. Comput. Sci, 11(1).
 12. Delforouzi, A., Pooyan, M. "Adaptive Digital Audio Steganography Based on Integer Wavelet Transform". Circuits Syst Signal Process 27, 247-259 (2008). <https://doi.org/10.1007/s00034-008-9019-x>.
 13. Mansour Sheikhan et al, High-Quality Audio steganography by Floating Substitution of LSBs in Wavelet Domain, world applied science Journal IDOSI publications, 2010.
 14. S. S. Divya and M. R. M. Reddy,

شد که نتایج مقایسه روش پیشنهادی با سایر روش‌ها و بررسی معیار SNR به دست آمده مستخرج از جدول ۱ نشان می‌دهد روش پیشنهادی دارای میزان سیگنال به نویزی بالاتری نسبت به سایر روش‌هاست و البته با مقایسه این سه کدگذار در شکل ۳ متوجه می‌شویم کدگذار MELP دارای مقاومت بالاتری نسبت به کدگذارهای LPC و CELP است و همین‌طور استاندارد LPC دارای امنیت بالاتری نسبت به CELP است.

مراجع

1. J. J. D. van Schalkwyk, D. J. Joubert and J. G. van der Linde, "Linear predictive speech coding at 2400 b/s," in Transactions of the South African Institute of Electrical Engineers, vol. 84, no. 3, pp. 146-152, June 1993.
2. M. Schroeder and B. Atal, "Code-excited linear prediction (CELP): High-quality speech at very low bit rates," ICASSP '85. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1985, pp. 937-940, doi: 10.1109/ICASSP.1985.1168147.
3. A. V. McCree and T. P. Barnwell, "A mixed excitation LPC vocoder model for low bit rate speech coding," in IEEE Transactions on Speech and Audio Processing, vol. 3, no. 4, pp. 242-250, July 1995.
4. Talati, S., Etezadifar, P. (2020). 'Providing an Optimal Way to Increase the Security of Data Transfer using Watermarking in Digital Audio Signals', Majlesi Journal of Telecommunication Devices, 9(1), pp. 35-46.
5. Etezadifar, P., Talati, S., Hassani Ahangar, M. R., Molazade, M. (2023). 'Investigation of Steganography Methods in Audio Standard Coders: LPC, CELP, MELP', Majlesi Journal of Telecommunication Devices, doi: 10.30486/mjtd.2022.695928.
6. Muhammad Asad; Junaid Gilani; Adnan Khalid, An enhanced

- Ahangar (2020) "Analysis, Simulation and Optimization of LVQ Neural Network Algorithm and Comparison with SOM", MJTD, vol. 10, no. 1.
23. Talati, S., & Hassani Ahangar. M. R. (2020) "Combining Principal Component Analysis Methods and Self-Organized and Vector Learning Neural Networks for Radar Data", *Majlesi Journal of Telecommunication Devices*, 9(2), 65-69.
24. Hassani Ahangar, M. R., Talati, S., Rahmati, A., & Heidari, H. (2020). "The Use of Electronic Warfare and Information Signaling in Network-based Warfare". *Majlesi Journal of Telecommunication Devices*, 9(2), 93-97.
25. Talati, S., & Amjadi, A. (2020). "Design and Simulation of a Novel Photonic Crystal Fiber with a Low Dispersion Coefficient in the Terahertz Band". *Majlesi Journal of Mechatronic Systems*, 9(2), 23-28.
26. Talati, Saeed, Hassani Ahangar, Mohammad Reza. (2021). "Radar Data Processing Using a Combination of Principal Component Analysis Methods and Self-Organized and Digitizing Learning Vector Neural Networks", *Electronic and Cyber Defense*, 9 (2), pp. 1-7.
27. Talati, S., Alavi, S. M., & Akbarzade, H. (2021). "Investigating the Ambiguity of Ghosts in Radar and Examining the Diagnosis and Ways to Deal with it". *Majlesi Journal of Mechatronic Systems*, 10(2).
28. Etezadifar, P., & Talati, S. (2021). "Analysis and Investigation of Disturbance in Radar Systems Using New Techniques of Electronic Attack". *Majlesi Journal of Telecommunication Devices*, 10(2), 55-59.
29. Saeed. Talati, Behzad. Ebadi, Houman. Akbarzade "Determining of the fault location in distribution systems in presence of distributed generation resources using the original post phasors". *QUID 2017*, pp. 1806-1812, Special "Hiding Text In Audio Using Multiple LSB Steganography And Provide Security Using Cryptography," *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 1, no. 6, pp. 68–70, 2012.
15. Veselska, O.; Lavrynenko, O.; Odarchenko, R.; Zaliskyi, M.; Bakhtiarov, D.; Karpinski, M.; Rajba, S. A "Wavelet-Based Steganographic Method for Text Hiding in an Audio Signal". *Sensors* 2022.
16. Mohsen Bazayar and Rubita Sudirma, "A Robust Data Embedding Method for MPEG Layer III Audio Steganography", *International Journal of Security and Its Applications* Vol.9, No.12 (2015).
17. M. Wakiyama, Y. Hidaka, and K. Nozaki, "An audio steganography by a low-bit coding method with wave files," *Proc. - 2010 6th Int. Conf. Intell. Inf. Hiding Multimed. Signal Process. IHHMSP 2010*, pp. 530–533, 2010, doi: 10.1109/IHHMSP.2010.135.
18. Hashemi, Seyed & Barati, Shahrokh & Talati, S. & Noori, H. (2016). "A genetic algorithm approach to optimal placement of switching and protective equipment on a distribution network". *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 11. 1395-1400.
19. Hashemi, Seyed & Abyari, M. & Barati, Shahrokh & Tahmasebi, Sanaz & Talati, S. (2016). "A proposed method to controller parameter soft tuning as accommodation FTC after unknown input observer FDI". *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 11. 2818-2829.
20. S. Talati, A. Rahmati, and H. Heidari. (2019) "Investigating the Effect of Voltage Controlled Oscillator Delay on the Stability of Phase Lock Loops", *MJTD*, vol. 8, no. 2, pp. 57-61.
21. Talati, S., & Alavi, S. M. (2020). "Radar Systems Deception using Cross-eye Technique". *Majlesi Journal of Mechatronic Systems*, 9(3), 19-21.
22. Saeed Talati, mohamadreza Hasani

Eavesdropping UAV', *Electronic and Cyber Defense*, 11(2), pp. 45-56.

Issue No.1- ISSN: 1692-343X, Medellín-Colombia. April 2017.

30. Talati, Saeed, Akbari Thani, Milad, Hassani Ahangar, Mohammad Reza. (2020). "Detection of Radar Targets Using GMDH Deep Neural Network", *Radar Journal*, 8 (1), pp. 65-74.
31. Talati, S., Abdollahi, R., Soltaninia, V., & Ayat, M. (2021). "A New Emitter Localization Technique Using Airborne Direction Finder Sensor". *Majlesi Journal of Mechatronic Systems*, 10(4), 5-16.
32. Ghazali, S. M., Baleghi, Y. "Pedestrian Detection in Infrared Outdoor Images Based on Atmospheric Situation Estimation" *Journal of AI and Data Mining*, 2019; 7(1): 1-16. doi: 10.22044/jadm.2018.5742.1696
33. Talati, S., Ghazali, S. M., Hassani Ahangar, M., & Alavi, S. M. (2021). "Analysis and Evaluation of Increasing the Throughput of Processors by Eliminating the Lobe's Disorder" *Majlesi Journal of Telecommunication Devices*, 10(3), 119-123.
<https://doi.org/10.52547/mjtd.10.3.119>
34. Talati, Saeed, Ghazali, Seyed Morteza, SoltaniNia, VahidReza, "Design and construct full invisible band metamaterial-based coating with layer-by-layer structure in the microwave range from 8 to 10 GHz" *Journal of Physics D: Applied Physics*. Volume 56, Number 17. 2023. DOI 10.1088/1361-6463/acb8c7.
35. EtezadiFar. P., Talati. S., Hassani Ahangar. M.R., Molazade. M., "Investigation of Steganography Methods in Audio Standard Coders: LPC, CELP, MELP" *Majlesi Journal of Telecommunication Devices*, 12(1), in press, 2023.
36. Soltaninia, V., Talati, S., Hasani Ahangar, M., Samsami Khodadad, F., Baei, P. (2023). 'Security of UAV Relay Networks based on Covert Communication in the Presence of an

مستحکم سازی درب‌های آب‌بند کشتی با رویکرد سبک‌سازی

مجتبی پاکیان بوشهری

دکترای مهندسی مکانیک، کشتی‌سازی شهید محلاتی، Pakianm@chmail.ir

چکیده:

درب‌های آب‌بند کشتی در اماکن و کمپارتمان‌های آب‌بند نظیر موتورخانه استفاده می‌شود. این درب‌ها علاوه بر آب‌بند بودن می‌بایست به اندازه کافی مستحکم بوده تا در مقابل بارهای انفجاری یا ضربه‌ای با سرعت‌های بالا مقاومت کنند. استفاده از این درب‌ها در شناورهای تندرو که وزن شناور بسیار حایز اهمیت است، می‌بایست با رویکرد سبک‌سازی باشد. این مطالعه، طرحی از درب‌های آب‌بند را ارائه می‌نماید که در آن وزن به طور نسبی بهینه شده‌است. روش کار بدین‌گونه است که ابتدا با استفاده از تئوری ناویر برای ورق‌ها و با توجه به شرایط مرزی و بارگذاری انجام‌شده بر روی درب، ضخامت ورق مقاوم در برابر بار انفجاری بدست آمده و در مرحله بعد با معادل کردن ممان اینرسی و استفاده از ورق و مقاطع تیر استاندارد، سازه از نظر مقاومت در مقابل ضربه و انفجار تقویت، و همچنین از نظر وزنی به طور نسبی سبک می‌شود. نتایج بدست آمده در مقایسه با نتایج عددی حاصل از روش اجزای محدود رضایت‌بخش می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:

درب آب‌بند، ورق استاندارد، تیر I شکل، بار انفجاری، تئوری ناویر، روش اجزای محدود

Strengthening the ship's watertight doors with the weight reduction approach

Mojtaba Pakian Bushehri

PhD in Mechanical Engineering, Pakianm@chmail.ir

Abstract

Ship's watertight doors are used in watertight places and compartments such as the engine room. In addition to being watertight, these doors should be strong enough to withstand explosive loads or high-speed impacts. The use of these doors in high-speed vessels, where the weight of the vessel is very important, should be based on weight reduction. This study presents a design of watertight doors in which the weight is relatively optimized. The working method is as follows: first, by using Navier's theory for sheets and according to the boundary conditions and loading on the door, the thickness of the sheet resistant to explosive load is obtained, and in the next step, by equating the moment of inertia and using from the sheet and beam section standard, the structure is strengthened in terms of resistance to impact and explosion, and also relatively light in terms of the weight. The obtained results are satisfactory compared to the numerical results of the finite element method.

Key words: Watertight door, Standard sheet, I-shaped beam, Explosive load, Navier theory, Finite element method

۱- مقدمه

درب های آب بند در اماکن و کمپارتمان های آب بند کشتی استفاده می شود. مکانیزم بسته شدن آن ها به گونه ای است که با چرخاندن دستگیره و سفت کردن آن ها، آب بند شدن توسط نوار لاستیکی بین درب و قاب فراهم می شود. شکل ۱ نمونه ای از این درب را در کشتی نشان داده است. این درها می بایست فشار هیدرواستاتیکی بالایی را تحمل نمایند تا هنگامی که کمپارتمان مجاور دچار آب گرفتگی شود؛ آب وارد کمپارتمان اصلی نگردد.



شکل ۱- نمونه ای از درب آب بند کشتی

این درها مطابق با الزامات دیواره آتش، دارای کلاس های مختلف کنترل صدمات هستند و وظیفه جلوگیری از انتقال حرارت از یک کمپارتمان به کمپارتمان دیگر را نیز دارند [۱].

علاوه بر وظیفه آب بند نمودن، این درها می بایست دارای استحکام کافی باشند تا در شرایط جنگی و یا سوانح در مقابل بارهای انفجاری و یا ضربه ای سرعت بالا مقاومت نمایند و آب بند بودن کمپارتمان کشتی حفظ گردد. دربرهای ضد انفجار عموماً در جثه های عظیم و سخت طراحی می شوند که دارای بازدهی عملی ضعیف هستند و مناسب شناورها نمی باشد. در حقیقت سازه های حفاظتی در کشتی باید دارای وزنی سبک باشند و این در حالی است که در مقابل بارهای انفجاری و ضربه ای سرعت بالا مقاوم هستند. بنابراین تحقیق روی شکل سازه ها و مواد جدید مورد نیاز می باشد. دربرهای ضد انفجار مختلفی با کاربری های متفاوت مورد مطالعه قرار گرفته اند.

پاسخ دینامیکی صفحات فولاد- هوا- فولاد و فولاد- فولاد که در دربرهای ضد انفجاری استفاده شده اند؛ مورد بررسی قرار گرفته است [۲]. پاسخ دینامیکی صفحات فولاد تخت با سختی های مختلف جهت بدست آوردن

تأثیر سختی نیز مورد مطالعه قرار گرفته است [۳]. همچنین صفحات دولایه با اتصالات فنی و تکیه گاه های انعطاف پذیر، جهت کاهش اثرات ناشی از انفجار و ضربه های آن مورد مطالعه ای عددی و تجربی قرار گرفته اند [۴]. مطالعاتی نیز در مورد صفحه های قوس دار که در دربرهای ضد انفجار استفاده شده و در برابر بارهای انفجاری مقاوم بوده صورت گرفته است که به صورت عددی و آزمایشگاهی بوده است [۵]. بررسی دیگری نیز در مورد دربرهای تقویت شده در برابر انفجار انجام شده است که برای این کار، جهت پیش بینی پاسخ دینامیکی درب ضد انفجار یک سری تحلیل گذرای اجزای محدود انجام شده است [۶]. همچنین مطالعات گسترده ای روی ورق های سلندویچی با هسته های متفاوت جهت جذب انرژی و مقاومت در برابر فشار ناشی از انفجار انجام شده است [۷]. تحقیق های آزمایشگاهی و عددی در رابطه با آنالیز شکست سازه های مقاوم در برابر انفجار مانند ورق های فلزی تقویت شده و بدون تقویت انجام شده است [۸ و ۹ و ۱۰]. تحقیقات دیگری نیز در رابطه با مقایسه ای پاسخ دینامیکی ورق های تقویت شده و بدون تقویت انجام شد که در آن اثر شرایط مرزی در پاسخ دینامیکی بسیار مهم بود [۱۱]. همچنین مطالعاتی در مورد استفاده از جاذب های انرژی در مقاوم سازی صفحات فولادی در مقابل موج انفجار و ضربه انجام شده است [۱۲]. یک پیکره بندی جدیدی از پانل دو لایه با شکل ساختاری چند قوسی ارائه گردید که در آن ظرفیت جذب انرژی و مقاومت در برابر بار انفجاری به روش عددی و با استفاده از نرم افزار اجزای محدود LS-DYNA بررسی گردید [۱۳].

مطالعات محدودی روی استحکام دربرهای آب بند کشتی جهت استحکام در برابر بارهای ضربه ای و موج های انفجار انجام شده است. Hui و Fanchun یک ساختار سه بعدی نسبت صفر پواسون برای درب کابین ضد انفجار کشتی طراحی کردند و با درب فوم آلومینیومی با همان کیفیت مقایسه کردند. نتایج نشان می دهد که انرژی کرنش لایه هسته با نسبت پواسون صفر ۵.۶ برابر لایه هسته فوم آلومینیومی است [۱۴].

در این مقاله بر خلاف بسیاری از مقالات که تنها از ورق های با ضخامت بالا استفاده شده است؛ پیکره بندی

برای محاسبه‌ی ممان‌های خمشی و پیچشی از معادلات (۶) استفاده می‌شود:

$$\begin{aligned} M_x &= -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \vartheta \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \\ M_y &= -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \vartheta \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \\ M_{xy} &= -D (1 - \vartheta) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad D = \frac{Eh^3}{12(1-\vartheta^2)} \end{aligned} \quad (6)$$

لازم به ذکر است که D سختی خمشی ورق است و در نهایت با قرار دادن معادله‌ی (۵) در معادله‌ی (۶) مؤلفه‌های ممان استخراج می‌شود.

$$\begin{aligned} M_x &= \frac{16q_0}{\pi^4} \sum_m \sum_n \frac{(m/a)^2 + \vartheta(n/b)^2}{mn[(m/a)^2 + (n/b)^2]^2} \times \\ &\quad \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) \\ M_y &= \frac{16q_0}{\pi^4} \sum_m \sum_n \frac{\vartheta(m/a)^2 + (n/b)^2}{mn[(m/a)^2 + (n/b)^2]^2} \times \\ &\quad \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) \\ M_{xy} &= -\frac{16q_0(1-\vartheta)}{\pi^4 ab} \sum_m \sum_n \frac{1}{[(m/a)^2 + (n/b)^2]^2} \times \\ &\quad \cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right) \end{aligned} \quad (7)$$

که q_0 بار اعمالی بر روی ورق و a ، b به ترتیب عرض و طول ورق مستطیلی می‌باشد و در نهایت با قرار دادن معادلات (۷) در معادلات (۸) ضخامت ورق محاسبه می‌گردد:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{12M_x z}{t^3} \\ \sigma_y &= \frac{12M_y z}{t^3} \\ \tau_{xy} &= \frac{12M_{xy} z}{t^3} \end{aligned} \quad (8)$$

با توجه به اینکه تنش‌های حداکثر در سطوح تحتانی و فوقانی ورق رخ می‌دهد لذا در این رابطه ($z=t/2$) می‌باشد [۱۴].

۲-۲- تقویت ورق با مقاطع تیر استاندارد

پس از استخراج ضخامت مورد نیاز ورق از روابط بالا، جهت سبک‌سازی و ساخت درب مناسب کشتی، از ورق و مقاطع تیر استاندارد می‌شود که در آن ممان اینرسی ورق ضخامت بالا که در مرحله قبل از تئوری ناویر محاسبه گردید با ممان اینرسی ورق با تیر استاندارد معادل سازی می‌گردد.

جدیدی از درب‌های مقاوم به ضربه و انفجار برای کمپارتمان‌های آب بند شناور معرفی شده‌است که از لحاظ وزنی بهینه شده و وزن با کاهش چشم‌گیری روبرو شده‌است.

۲- روش حل

۲-۱- حل تحلیلی برای به‌دست آوردن ضخامت

درب با استفاده از تئوری ناویر

به طور کلی حل مسائل خمش ورق‌های مستطیلی برای بار و خیز، با استفاده از سری‌های فوریه زیر صورت می‌پذیرد:

$$\begin{aligned} P(x, y) &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} P_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (الف) \\ w(x, y) &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (ب) \end{aligned} \quad (9)$$

این شیوه را ناویر ارائه کرده است [۱۵]. جواب مورد نظر برای خیز باید معادله دیفرانسیل حاکم بر خیز ورق‌ها را با شرایط مرزی متناظر با تکیه گاه ساده (۳) ارضاء کند:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{P}{D} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} w = 0 \quad \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \quad (x = 0 \quad x = a) \\ w = 0 \quad \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0 \quad (y = 0 \quad y = b) \end{aligned} \quad (3)$$

که در آن a و b به ترتیب عرض و طول ورق مستطیلی است.

با ضرب عبارت $\sin \frac{m'\pi x}{a} \sin \frac{n'\pi y}{b} dx dy$ در دو طرف معادله‌ی (۱-الف) و با جایگذاری معادله‌ی (۱-ب) در معادله‌ی ۲ به ترتیب ضرایب P_{mn} و a_{mn} سری فوریه محاسبه می‌شوند:

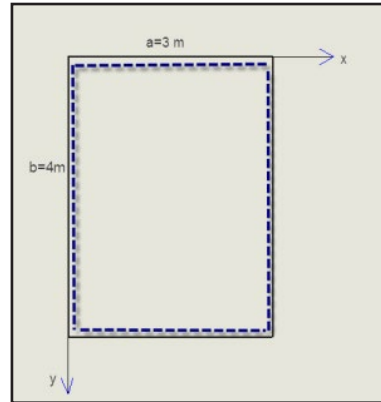
$$\begin{aligned} P_{mn} &= \frac{4}{ab} \int_0^b \int_0^a P_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} dx dy \\ a_{mn} &= \frac{1}{\pi^4 D} \frac{P_{mn}}{[(m/a)^2 + (n/b)^2]^2} \end{aligned}$$

با قرار دادن معادلات (۴) در معادله‌ی (۱-ب) و با توجه به اینکه ورق مستطیلی در معرض بار گسترده‌ی یکنواخت $p(x, y) = p_0$ قرار دارد معادله‌ی خیز ورق بدست می‌آید.

$$\begin{aligned} w &= \frac{16p_0}{\pi^6 D} \sum_m \sum_n \frac{\sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right)}{mn \left[\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 \right]^2} \quad (5) \\ m, n &= 1, 3, \dots \end{aligned}$$

۳- نتایج

برای تحلیل مطابق شکل ۲، یک ورق را که شرایط مرزی هر چهار طرف آن به صورت تکیه‌گاه ساده است در نظر می‌گیریم که این درب از جنس فولاد ST-37 می‌باشد، و مشخصات آن در جدول ۱ آورده شده‌است. جهت اعمال بار به درب، یک بار انفجاری انتخاب شده‌است که ماکزیمم فشار اعمالی به درب 10^6 Pa می‌باشد.



شکل ۲- ابعاد و شرایط مرزی ورق مورد مطالعه

جدول ۱- خواص مکانیکی فولاد ST-37 [۱۶]

ضریب پواسون	مدول کشسانی (GPa)	مقاومت تسلیم (MPa)	مقاومت نهایی (MPa)	چگالی (kg/m^3)	ST-37
۰/۲۷	۲۰۰	۲۵۰	۳۵۰	۷۸۶۰	
۰/۳		۴۸۰			

با توجه به رابطه‌ی (۷) گشتاورهای وارده بر درب به صورت زیر است:

$$M_x = 650 \times 10^3 \text{ N.m}$$

$$M_y = 469 \times 10^3 \text{ N.m} \quad (۹)$$

$$M_{xy} = -317 \times 10^3 \text{ N.m}$$

با توجه به بیشتر بودن گشتاور M_x در معادله (۹) و بر اساس این مقدار گشتاور، طراحی انجام شده و به عنوان ضخامت ورق جهت تحمل بار در طراحی در نظر گرفته می‌شود و مطابق رابطه‌ی (۸) و با در نظر گرفتن ضریب اطمینان ۲، ضخامت ورق در ۱۸۰ mm حاصل می‌گردد. با تعیین شدن ضخامت ورق به محاسبه‌ی تغییر مکان‌ها و تنش‌ها می‌پردازیم. ماکزیمم تغییر مکان در وسط ورق و از رابطه‌ی ۵ به دست می‌آید و با قرار دادن $x = a/2$ و $y = b/2$ برابر 5.28 mm می‌باشد.

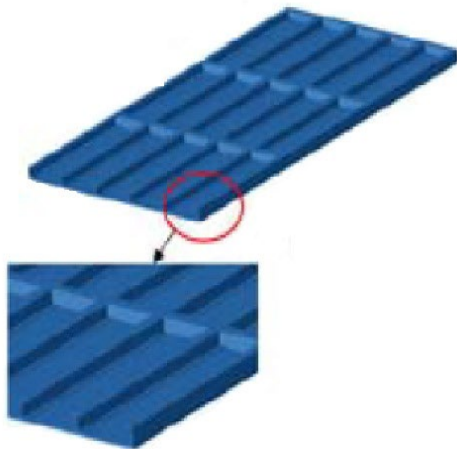
همچنین با استفاده از روابط (۸) ماکزیمم تنش در $(z = t/2)$ به صورت زیر می‌باشد:

$$\sigma_x = 120.37 \text{ MPa} \quad \sigma_y = 86.85 \text{ MPa}$$

وزن درب (ورق بدون تقویت) نیز با احتساب چگالی 7860 kg/m^3 برابر 16977 kg می‌شود.

۳-۱- تحلیل درب به صورت تقویت شده

با توجه به این که ضخامت بالایی برای درب به دست آمده‌است؛ لذا ورقی با ضخامت استاندارد انتخاب شده و برای معادل سازی ممان اینرسی، از تیرهای I شکل استفاده می‌شود (شکل ۳) به گونه‌ای که ممان اینرسی عرضی سطح ورق انتخاب شده به وسیله‌ی این تیرها معادل سازی و جبران گردد. برای این کار می‌توان از یک ورق استاندارد و موجود در بازار استفاده کرد و سپس با استفاده از تیرهای I شکل با اندازه‌های مشخص، به تقویت ورق پرداخت. بدیهی است که می‌توان برای معادل سازی ممان اینرسی، از سه پارامتر تغییر ضخامت ورق انتخابی، شماره‌ی تیرها و تعداد تیرها استفاده کرد. در این مقاله از یک ورق ۲۰ میلی‌متر و تیرهای I شکل با شماره‌های ۲۴، ۲۷ و ۳۰ که در جدول ۲ آورده شده‌است؛ استفاده کرده و با جمع کردن ممان اینرسی ورق انتخاب شده و تیرهای I شکل انتخابی و مقایسه با ممان اینرسی ضخامت ورق به دست آمده از تئوری ناوبر بهینه‌ترین حالت انتخاب شده‌است که وزن مینیمم و فاصله‌ی مناسب تیرها را دارد. برای اتصال تیرها به ورق، بعد از مشخص کردن مدل شبکه‌ای مانند نمونه شکل ۳ تیرها به ورق جوش داده می‌شوند.

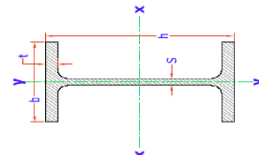


شکل ۳- تقویت ورق با تیر

مطابق نتایج بدست آمده از جدول ۲، با استفاده از تیر I شکل شماره ۳۰ وزن کل درب ۴۳۱۰/۸ kg می شود که تقریباً یک چهارم وزن ورق محاسبه شده از تئوری ناویر می باشد.

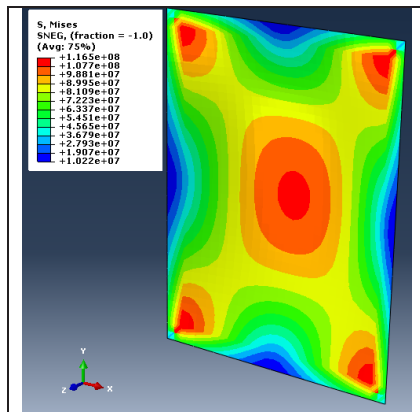
جدول ۲- تعداد و وزن تیرهای محاسبه شده

شماره تیر I شکل	۲۴	۲۷	۳۰
وزن نهایی درب	۴۸۵۸/۲	۴۶۱۷/۵	۴۳۱۰/۸
تعداد تیر در عرض ۳	۲۰	۱۳	۹
تعداد تیر در طول ۴	۲۸	۱۹	۱۳
I	۳۸۹۰	۵۷۹۰	۸۳۶۰
A	۳۹/۱	۴۵/۹	۵۳/۸
b	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰
t	۱۰/۲	۹/۸	۱۰/۷
s	۶/۲	۶/۶	۷/۱
h	۲۴۰	۲۷۰	۳۰۰

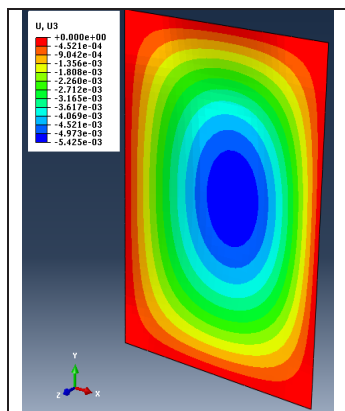


شکل های ۴ تا ۹ خروجی های این نرم افزار می باشد. ابتدا ضخامت ورق به دست آمده از تئوری ناویر را با خروجی نرم افزار آباکوس مقایسه می کنیم. برای این کار یک ورق با عرض ۳ m، طول ۴ m و ضخامت ۱۸ cm را در نرم افزار آباکوس با بارگذاری گسترده ای استاتیکی و با شرایط تکیه گاهی ساده، مدل می کنیم. با تحلیل استاتیکی ورق مذکور، نتایج زیر برای ورق حاصل شد.

بر اساس شکل ۴ نیز ماکزیمم تنش فون میسز در وسط درب و به اندازه ۱۱۶/۵ MPa می باشد و با توجه به اینکه تنش تسلیم برای این فولاد طبق جدول ۲ به اندازه ۲۵۰ MPa است لذا بر اساس تئوری پلاستیسیته و معیار تسلیم فون میسز، اگر تنش معادل فون میسز به اندازه ای تنش تسلیم در کشش ساده برسد جسم در آستانه ای تسلیم قرار می گیرد، بنابراین ورق مورد نظر به حد تسلیم نرسیده است و می تواند بار وارده را تحمل کند.



شکل ۴- مقدار تنش فون میسز وارد بر ورق



شکل ۵- مقدار تغییر مکان ورق در راستای محور Z

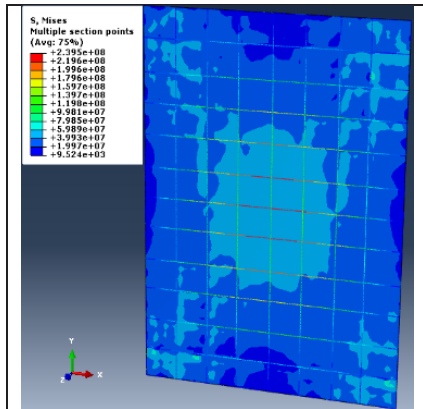
همانطور که انتظار می رفت مطابق شکل ۵ ماکزیمم تغییر مکان در وسط ورق و در راستای محور Z و به مقدار mm 5.42 است که مقدار قابل قبولی نسبت به حل تئوری

۲-۳- بررسی عددی با نرم افزار آباکوس

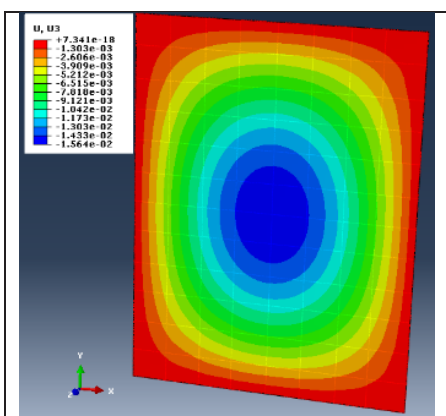
نرم افزار آباکوس یکی از قدرتمندترین نرم افزارهای شبیه سازی به روش اجزای محدود می باشد و از تحلیل ساده تا پیشرفته را به نحو شایانی انجام می دهد. در این مقاله، برای صحنه سنجی مدل تئوری ارائه شده، از نرم افزار آباکوس استاندارد نسخه 6.14 استفاده شده است. در این مدل سازی ورق و تیر از نوع shell و wire بوده است و از باقید Tie به یکدیگر متصل شده است. جدول ۳ تنظیمات بکار رفته در نرم افزار آباکوس را نشان می دهد.

جدول ۳- تنظیمات بکار رفته در نرم افزار آباکوس

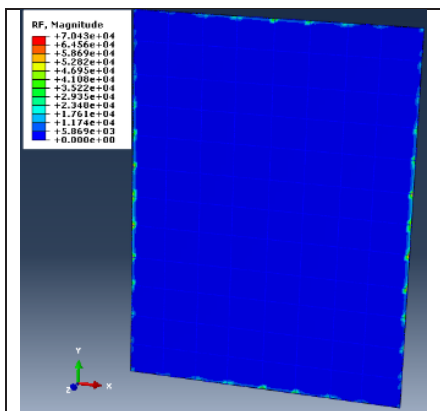
Parameter	Method/Title	Description
Abaqus analysis	Static, General procedure	Max. increment: 100
Geometry model	shell- Deformable	For plate model
	wire- Deformable	For beam model
Mesh	Quad- Structure	For plate model
	Seed edge	For plate model



شکل ۷- مقدار تنش فون میسز وارد بر درب تقویت شده



شکل ۸- مقدار تغییر مکان درب تقویت شده در راستای محور Z

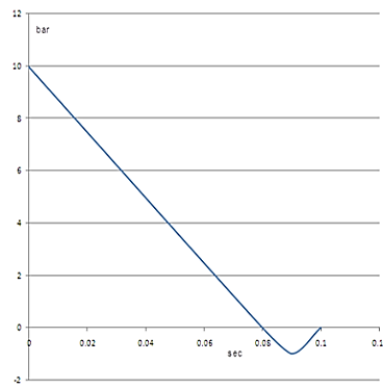


شکل ۹- مقدار نیروی عکس العمل تکیه‌گاهی درب تقویت شده

با توجه به نتایج حاصل از حل تئوری بر مبنای معادلات ناویر و حل عددی نرم‌افزار آباکوس برای ورق ضخیم با ضخامت ۱۸ cm، مقادیر تنش‌های اصلی در راستای محور x به ترتیب، مقدار 120.37 MPa و 123.6 MPa و در راستای محور y به ترتیب، 86.85 MPa و 85.63 MPa می‌باشد که اختلاف مقادیر حل عددی نسبت به تئوری به ترتیب برابر با ۲.۴۳ درصد و ۱.۴ درصد می‌باشند. همچنین ماکزیمم تغییر مکان به دست آمده از حل تئوری و عددی به ترتیب برابر 5.28 mm و 5.42 mm است که دارای

می‌باشد. بنابراین تئوری حاضر برای به دست آوردن ضخامت ورق مقاوم در برابر انفجار، مناسب می‌باشد.

حال مطابق مطالب گفته شده درباره‌ی تقویت درب در قسمت ۲-۳، درب مورد نظر را که از تیر I شکل شماره‌ی ۳۰ و یک ورق با ابعاد ۳ m عرض، ۴ m طول و ۲ cm ضخامت ساخته شده‌است؛ در نرم افزار آباکوس با بارگذاری فرضی انفجاری طبق نمودار شکل ۷، مدل و تحلیل می‌کنیم. نتایج حاصل نشان می‌دهد که طراحی درب صحیح و قابل استفاده می‌باشد.



شکل ۶- نمودار بار دینامیکی فرضی حاصل از انفجار وارد بر درب

شکل ۷ مقدار تنش فون میسز، شکل ۸ مقدار تغییر مکان در راستای محور Z و شکل ۹ نیروی عکس‌العمل تکیه‌گاهی درب تقویت شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود حداکثر تغییر مکان در مرکز درب ۱.۵۶ MPa است و ماکزیمم تنش فون میسز حاصل ۲۳۹.۵ و در محل اتصال تیرها به ورق، در وسط درب می‌باشد و به حد تنش تسلیم نیز نرسیده است؛ بنابراین درب در برابر بار وارده مقاومت می‌کند. می‌توان با تغییر چیدمان تیرها و تمرکز آنها در وسط درب، ماکزیمم تغییر مکان و تنش را باز هم به حداقل رساند.

همان‌طور که از شکل ۶ مشاهده می‌شود بارگذاری انفجاری دارای مقداری مکش بعد از انفجار می‌باشد یعنی هنگامی که بار انفجاری در زمان $t = 0.08 \text{ s}$ به مقدار صفر می‌رسد بارگذاری پلیمان نمی‌پذیرد و همچنان تا زمان $t = 0.09 \text{ s}$ که جهت بارگذاری عوض شده ادامه دارد و به مقدار 1 bar می‌رسد و در نهایت، بارگذاری در زمان $t = 0.1 \text{ s}$ پایان می‌پذیرد و به مقدار صفر می‌رسد.

خطای ۲.۵۸ درصدی است. با توجه به مقایسه نتایج به دست آمده از حل عددی نسبت به تئوری، بر نتایج حل عددی صحت گذاری شد.

نتایج عددی حاصل از درب تقویت شده نیز بیانگر صحت مدل ارائه شده برای تقویت ورق (معادل کردن ممان اینرسی)، می باشد. همان طور که مشاهده می شود بیشترین تغییر مکان درب بعد از انفجار ۱.۵۶ cm می باشد و این مقدار با توجه به تنش های اصلی ۵۶.۸۳ MPa و ۴۱.۵۶ MPa در راستای محورهای x و y و تنش فون میسز ۲۳۹.۵، نشان می دهد تعداد ۲۲ تیری که از حل تئوری به دست آمد برای مقاومت درب کافی می باشد و درب در برابر انفجار مقاومت می کند و از مرز تسلیم نیز فاصله دارد. ماکزیمم نیروی عکس العمل تکیه گاهی درب ۷۰.۴۳ kN می باشد که نشان می دهد طراحی تکیه گاه در این درب های از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

۴- نتیجه گیری

این بخش شامل ارائه ی نتایج تحقیق و مباحث مربوط به آنها می باشد. با توجه به مطالب گفته شده در قسمت های قبل، برای طراحی یک درب ضد انفجار آب بند در کشتی، ابتدا باید ضخامت ورق مقاوم در برابر انفجار را به دست آورد و سپس با انتخاب یک ورق استاندارد و موجود در بازار و با تیرهای استاندارد به تقویت ورق پرداخت.

با توجه به سه نوع تیری که در این مقاله بررسی شد این نتیجه حاصل شد که با افزایش ممان اینرسی و پهنای تیر برای تحمل بار حاصل از انفجار با کاهش وزن درب روبرو می شویم که در نتیجه از تیر با شماره ی بالاتری جهت طراحی درب استفاده شد. همچنین مشاهده شد که بیشترین جابجایی در مرکز درب اتفاق می افتد لذا تقویت این ناحیه در طراحی بسیار مهم است. همان طور که از شکل ۷ مشاهده می شود ماکزیمم تنش در محل اتصال تیرها به ورق اتفاق افتاده است بنابراین تقویت اتصالات در این سازه ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این مقاله با توجه به رویکرد ارائه ی مدل جدید برای طراحی درب های ضد انفجار، صرفا به طراحی درب پرداخته شده است و فقط از تیر I شکل استفاده شده است؛ بنابراین پیشنهاد می شود طراحی درب های ضد انفجار کشتی با انواع مختلف تیرها نیز مورد بررسی واقع شود. همچنین در این مقاله مقاومت تکیه گاه های این گونه درب ها مورد بررسی قرار نگرفته است

به طوری که در برخی از انفجارها درب به همراه چارچوب آن از محل نصب جدا می شود، بنابراین پیشنهاد می شود که در پژوهش های آتی تکیه گاه درب های آب بند مورد بررسی قرار گیرد.

۸- فهرست علائم

D	سختی خمشی
M	ممان خمشی و پیچشی
P	بار گسترده
t	ضخامت ورق
W	خیز ورق
σ	تنش عمودی
τ	تنش برشی

مراجع

- [1]. LR. July 2016, Rules and Regulation for the Classification of Ships, Part 5 Main and Auxiliary engine.
- [2]. Koh, C.; Ang, K.; Chan, P. "Dynamic analysis of shell structures with application to blast resistant doors"; J. Shock and Vibration 2003.10.269-279
- [3]. Goel, M.D.; Matsagar Vasant, A.; Gupta, A.K. "Dynamic response of stiffened plates under air blast"; J. Protective Structures 2011.2.139-156
- [4]. Hao, H. "Preliminary study of the structure and support forms to mitigate blast and impact loading effects"; In Pros. 21st Australian conference on the mechanics of structures and Materials Melbourne, Australia; 2010.
- [5]. Chen, L.; Fang, Q.; Zhang, Y.; Fan, J. "Numerical and Experimental Investigations on the blast-resistant properties of arched RC blast doors"; J. Protective Structures 2010.1.425-441
- [6]. Hsieh, M.W.; Hung J.P.; Chen D.J. "Investigation on the Blast Structure"; J. Marine Science and Technology, 2008.16.149-157
- [7]. Zhu, F.; Lu, G.; Ruan, D.; Wang, Z. "Plastic deformation, failure and energy absorption of sandwich structures with metallic cellular cores"; J. Protective Structures 2010.1.507-541
- [8]. Nurick, G.N.; Olson, M.D.; Fagnan, J.R. "Deformation and tearing of blast loaded stiffened square plates"; J. Impact Engineering, 1995.16. 273-291
- [9]. Nurick, G.N.; Shave, G.C. "The deformation and tearing of thin square plates

- [13]. Wensu, C.; Hong, H. "Numerical study of a new multi-arch double-layered blast-resistance door panel", J. Impact Engineering 2012.43.6-28
- [14]. Chen H, Li F. Design of quadrilateral zero-Poisson's ratio metamaterial and its application in ship explosion-proof hatch door. Ocean Engineering. 2022 Dec 15; 266: 112667.
- [15]. Ugural, A.C. "Stresses in Plates and Shells"; Technology & Engineering, McGraw Hill.1981
- [16]. Beer, F.; Johnston, R.; Dewolf, J. "Mechanics of Materials"; McGraw Hill.1981
- subjected to impulsive loads-an experimental study"; J. Impact Engineering, 1996.18.99-116
- [10]. Rudrapatna, N.S.; Vaziri, R.; Olson, M.D. "Deformation and failure of blast-loaded stiffened plate"; J. Impact Engineering, 2000.24. 457-474
- [11]. Louca, L.A.; Pan, Y.G.; Harding, J.E. "Response of stiffened and unstiffened plates subjected to blast loading"; j Engineering Structure, 1998.20.1079-1086
- [12]. Saeid monir, H.; Naser, A.; Ahmadi, H.; Vahedi, J. "Retrofitting steel plates behavior of energy absorbing against blast wave and Impact", In Proc. of the International Conference Civil Engineering 2009. (In Persian)

بررسی تجربی دقت تعمیم نتایج تست آب آزاد پروانه‌های CRP

در نسبت پیشروی‌های مختلف

امین محمدزاده ثانی^۱، مهدی پورواحدی^۲

^۱مربی سازمانی، گروه زیرسطحی، دانشکده شناوری، دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (علیه‌السلام).

^۲مربی سازمانی، گروه مکانیک، دانشکده شناوری، دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (علیه‌السلام).

چکیده:

تاکنون روش‌های محاسباتی مختلفی برای تحلیل پروانه‌های دریایی مخصوصاً پروانه‌های CRP که مورد استفاده در زیردریایی‌ها و برخی کشتی‌ها است به کار گرفته شده است؛ اما کارایی این روش‌ها به‌صورت قطع در هیچ منبع علمی گزارش نشده است. تست‌های آب آزاد و خودران‌ش رایج‌ترین تست‌ها در ارزیابی پروانه‌ها به شمار می‌روند. در این تحقیق سعی شده تا یکی از روش‌های رایج در تعمیم نتایج تست پروانه در آب آزاد (POW) به‌صورت علمی و با استناد به داده‌های تجربی، مورد ارزیابی قرار گرفته و دقت آن در تعمیم نتایج از مدل به نمونه اصلی در نسبت پیشروی‌های مختلف مشخص گردد. داده‌های تجربی شامل نتایج تست مدل POW یک پروانه CRP در حالت برهم‌نهی اثر پروانه‌ها و ایضاً نتایج تست مدل برای تک‌تک پروانه‌های تکی تشکیل‌دهنده این سیستم CRP می‌باشد. شیوه بررسی دقت و کارایی روش مورد مطالعه در این مقاله بدین‌صورت است که با داده‌های خام تست مدل، ابتدا میزان افزایش ضرایب Kt و Kq پروانه CRP نسبت به پروانه‌های تکی مدل مشخص گردید. سپس به کمک کد تعمیم نتایج، با استخراج ضرایب Kt و Kq برای پروانه‌های نمونه واقعی، میزان افزایش ضرایب Kt و Kq پروانه CRP نسبت به پروانه‌های تکی مورد ارزیابی قرار گرفت. با مقایسه میزان این افزایش‌ها در حالت مدل و نمونه واقعی می‌توان به‌دقت تعمیم نتایج تست آب آزاد پروانه‌های CRP در نسبت پیشروی‌های مختلف پی برد.

واژه‌های کلیدی: تعمیم، آب آزاد، پروانه CRP، نسبت پیشروی، داده‌های تجربی

Experimental investigation of result Scale out accuracy of CRP propeller open water test at different advance ratio

Amin Mohammadzade Sani¹, Mahdi Poorvahedi²

¹Organizational lecturer, Submarine Department, officers and guard training University of Imam Hussein

²Organizational lecturer, Mechanical Department, officers and guard training University of Imam Hussein

Abstract:

Until now, various calculation methods have been used to analyze marine propellers, especially CRP propellers that are used in submarines and some ships; but the effectiveness of these methods has not been reported in any scientific source. Open water and self-propulsion tests are the most common tests in the evaluation of propellers. In this research, one of the common methods of results extrapolation of the propeller test in open water (POW) has been tried to evaluate scientifically based on experimental data, and its accuracy in results generalizing from the model to the base sample in different advance ratio has been determined. The experimental data includes the test results of the POW model of a CRP propeller in the superimposition mode of the effect of the propellers and also the model test results for each single propeller of this CRP system. The method of checking the accuracy and efficiency of the method studied in this article is that with the raw data of the model test, the increase in the Kt and Kq coefficients of the CRP propeller compared to the single propellers of the model was determined. Then, with the help of the result extrapolation code, by extracting the coefficients of Kt and Kq for base sample propellers, the increase of Kt and Kq coefficients of the CRP propeller compared to the single propeller was evaluated. By comparing the amount of these increases in the model and the base sample, it is possible to estimate the result Scale out accuracy of the CRP propeller open water test at different advance ratios.

Keywords: Scale out, Open water, CRP Propeller, Advanced ratio, Experimental data

امروزه بیش از ۸۵ درصد ظرفیت تجارت جهانی توسط سامانه‌های دریایی جابجا می‌شود. علیرغم این مزیت، این روش حمل‌ونقل دارای محدودیت‌هایی در سرعت عملکردی، برد عملیاتی و ذخیره انرژی است که تمامی آنها می‌توانند با تکیه بر ارتباط بین سرعت، نیروی پسا و مصرف انرژی، به سیستم رانش زیرسطحی به‌عنوان یک گلوگاه فناوریانه مرتبط شوند. از نظر هیدرودینامیکی می‌توان سیستم‌های رانش را به دو دسته عمده تقسیم‌بندی نمود: دسته اول، سیستم‌های رانش مربوط به سامانه‌هایی هستند که سامانه تأثیر اندکی بر روی سیستم رانش دارد که شامل بسیاری از شناورها مانند فله‌برها، نفت‌کش‌ها، یدک‌کش‌ها و ... می‌شود. امروزه تکنولوژی مرتبط با این دسته توسعه قابل قبولی یافته و به بلوغ کافی رسیده و تجاری‌سازی شده است. دسته دوم سیستم‌های رانش مربوط به سامانه‌هایی هستند که سامانه تأثیر قابل توجهی بر روی سیستم رانش دارد که دربردارنده زیرسطحی‌ها و برخی از شناورهای خاص می‌باشند و بسیاری از مسائل باز تحقیقاتی در این حوزه قرار دارند. به‌منظور انتخاب نوع سیستم رانش از بین مواردی همچون پروانه گام ثابت، پروانه غلاف دار، CRP و ... باید به الزاماتی پاسخ داده شود که شامل کاربرد سامانه، سرعت پیشروی سامانه، ضرورت بالانس گشتاور، اهمیت انتشار نویز آکوستیکی، اثرات سطح آزاد و برد عملکردی می‌باشد. در این تحقیق، سامانه CRP مدنظر قرار دارد که هنوز روش تعمیم نتایج مدل آنها به نمونه اصلی جزء چالش‌های این حوزه به شمار می‌رود. پروانه‌های CRP از دو پروانه تشکیل شده‌اند که بر روی یک محور هم‌راستا نصب شده‌اند و در خلاف جهت یکدیگر دوران می‌نمایند. با وجود معایبی مانند پیچیدگی طراحی هیدرودینامیکی و هندسی و وزن بیشتر در مقایسه با پروانه‌های تکی دارای مزایای بسیاری هستند که بخش عمده آن را می‌توان به احیاء و جذب انرژی ناشی از انرژی چرخشی پروانه جلو مرتبط دانست که در پروانه تک تلف می‌شود، از طرف دیگر با توجه به تقسیم توان و تراست لازم بین سیستم دو پروانه در مقایسه با سیستم تک پروانه در نهایت از نظر قطر، وزن پروانه و ارتعاشات، مزایای CRP بر سیستم تک پروانه غیرقابل انکار می‌باشد. با توجه به جهت چرخش متفاوت و

شرایط نسبی دو پروانه نسبت به همدیگر در پروانه‌های CRP این قابلیت وجود دارد که با انتخاب پارامترهای مناسب، گشتاور دو پروانه توسط همدیگر بالانس شود و این نکته در حرکت اژدر و قابلیت حفظ مسیر^۱ آن نکته اساسی و مهم است. تاکنون تحقیقات نسبتاً قابل توجهی در این زمینه انجام شده است که می‌توان به اهم این موارد اشاره نمود. موهان و همکاران [1] به اثر استرات (پایه نگهدارنده پروانه در تست مدل) پروانه‌های CRP پرداخته و این اثرات را هم به‌صورت تجربی و هم به‌صورت عددی مورد مطالعه قرار داده و تأثیر این عامل را بر روی راندمان آب آزاد بررسی نمودند. در مطالعه موهان اثراتی که در استاندارد ITTC-78 جهت تعمیم نتایج نادیده گرفته شده مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است؛ نتیجه حاکی از آن است که ارتفاع لایه مرزی در تعمیم نتایج نمی‌تواند بدرستی دیده شود و این بزرگترین دلیل ناکارآمدی استاندارد ITTC می‌باشد. جیان هو و همکاران [2] نیز طی یک مطالعه عددی در مقاله خود به اثر تعمیم نتایج روی فشار مابین پروانه جلویی و عقبی در سیستم رانش CRP پرداخته و شبیه‌سازی عددی را با داده‌های تجربی مورد صحت‌سنجی قرار داد. نتایج حاکی از آن است که فشار مابین پروانه جلویی و عقبی می‌تواند تحت تأثیر بارهای وارده بر پروانه رفتارهای متفاوتی از خود بروز دهد که ماهیتاً با یکدیگر دارای تفاوت اساسی هستند. ژانگ و همکاران [3] نیز به اثرات برهم‌کنش سیال در دو موضع خاص پرداختند. یکی از این مواضع بین دو پروانه بود که تأثیرگذار روی راندمان پروانه در آب آزاد^۲ می‌باشد و موقعیت بعدی مابین پروانه و بدنه بود که تأثیرگذار روی راندمان هیدرودینامیکی است. این راندمان از تست خودرانش^۳ قابل استخراج می‌باشد. بوضوح می‌توان دید که نتایج برای سه ناحیه از یکدیگر تفکیک شده‌اند. این سه ناحیه عبارتند از: بعد از خروج از پروانه CRP، ناحیه بین دو پروانه و در نهایت ناحیه بین پروانه و بدنه (قبل از ورود به پروانه). رفتار سیال و پروانه در این ۳ قسمت یکسان نیست و در هر قسمت نیاز به تحلیل مجزا می‌باشد. کنشیرو و همکاران [4] نیز در مقاله خود به مقایسه ۵ نوع پروانه مختلف و بررسی کاویتاسیون در مدل و نمونه اصلی این نوع پروانه‌ها پرداختند. این پروانه‌ها شامل CP، اسکيو بالا^۴، داکت‌دار، CRP و سوپرکاویتاسیون می‌شدند. نتایج

³ Self propulsion

⁴ High Skew

¹ Course keeping

² Open water

تقسیم نمود. قسمت اول شامل متغیرهای پروانه‌های تکی و تعمیم نتایج آنها می‌باشد که این معادلات را می‌توان از استاندارد ITTC [8] استخراج نمود و بخش دوم مربوط به حالت برهم‌نهی دو پروانه اختصاص دارد که روش‌های مختلفی برای تخمین تراست و گشتاور در این حالت‌ها ارائه شده است. روابط ون مانن [9] یکی از این روش‌هاست. در ادامه به معرفی این روابط می‌پردازیم.

در ابتدا سراغ روابط ITTC می‌رویم. ضرایب تراست و گشتاور پروانه‌های تکی در حالت مدل از روابط زیر محاسبه می‌شوند.

$$k_{tm} = \frac{T_m}{\rho n_m^2 D_m^4} \quad (1)$$

$$k_{qm} = \frac{Q_m}{\rho n_m^2 D_m^5} \quad (2)$$

اندیس m در روابط بالا مربوط به پروانه مدل می‌باشد. غیر از دور که برحسب rps می‌باشد سایر پارامترها برحسب یکاهای متریک می‌باشند. جهت تعمیم نتایج از روابط زیر استفاده می‌نماییم [15]:

$$k_{ts} = k_{tm} - \Delta k_t \quad (3)$$

$$k_{qs} = k_{qm} - \Delta k_q \quad (4)$$

$$\Delta k_t = -0/3 \Delta C_D \frac{P}{D} \cdot \frac{cZ}{D} \quad (5)$$

$$\Delta k_q = -0/25 \Delta C_D \frac{P}{D} \cdot \frac{cZ}{D} \quad (6)$$

$$\Delta C_D = C_{DM} - C_{DS} \quad (7)$$

$$C_{DM} = 2 \left[1 + 2 \frac{t}{c} \right] \left[\frac{0/04}{Re_{nco}^{\frac{1}{6}}} - \frac{5}{Re_{nco}^{\frac{2}{3}}} \right] \quad (8)$$

$$C_{DS} = 2 \left[1 + 2 \frac{t}{c} \right] \left[1/89 - 1/62 \log \left(\frac{c}{k_p} \right) \right]^{-2.5} \quad (9)$$

$$Re_{nco} = \frac{\rho V_R (0/7D)}{\mu} \quad (10)$$

$$V_R = \sqrt{V_A^2 + (0/7\pi n D)^2} = V_A \sqrt{1 + \left(\frac{0/75\pi}{J} \right)^2} \quad (11)$$

در حالت برهم‌نهی پروانه‌ها که ماهیت سیستم رانش CRP را تشکیل می‌دهد روابط ضرایب تراست و گشتاور عبارتند از:

$$K_{Tm} = \frac{T_{fm} + T_{am}}{\rho n_{fm}^2 D_{fm}^4} \quad (12)$$

نشان می‌دهند که برخی از پروانه‌ها می‌توانند در پیش‌بینی سطح نوبز به کمک کاویتاسیون رفتار با وضوح بالاتری از خود نشان دهند و برخی دیگر از پروانه‌ها در این زمینه با رفتار ضعیف‌تری ظاهر می‌شوند. ژان ژی وانگ و همکاران [5] در یک مقاله با عنوان «بررسی عددی اثر مقیاس عملکرد هیدرودینامیکی سیستم‌های رانش ترکیبی CRP-pod»، علاوه بر مطالعه اثر مقیاس بر عملکرد هیدرودینامیکی سیستم‌های رانش، اثرات نسبت دور پروانه‌ها بر روی راندمان این نوع سیستم رانش را مورد ارزیابی قرار داد. نتایج حاکی از دو موضوع مهم می‌باشد: اول اینکه تجهیزات نگهدارنده همچون استرات می‌تواند الگوی واقعی جریان حول پروانه‌های CRP را برهم زده و نتایج نادرستی را در اختیار پژوهشگر قرار دهد و دوم آنکه یک پروانه جلویی نقش تعیین کننده در رفتار هیدرودینامیکی پروانه‌های Pod ایفا می‌کند. سمیون و همکاران [6] نیز در مقاله‌ای به بررسی اثر تغییر فاصله بین دو پروانه بر روی متغیرهای هیدرودینامیکی در تست مدل و به کمک روابط ITTC به تعمیم نتایج پرداختند. این بررسی که به صورت تجربی بوده در حوضچه کشش کشتی‌سازی شرکت ساسونگ صورت گرفته است. در قسمت نتایج به بررسی اثرات پروانه CRP بر بدنه و اثر بدنه بر پروانه CRP به کمک تست های آب آزاد و خودرانش پرداخته شده است. یاسوهیکو [7] نیز در مقاله خود به بررسی تغییر فرم هندسی تیغه‌ها بر روی تراست و گشتاور پروانه مقیاس شده CRP پرداخته و اثر این تغییر هندسه را روی راندمان مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاکی از اصلاح نواحی فشار جهت نیل به راندمان بالاتر می‌باشد. در مطالعه حاضر دقت روش ون مانن⁵ در تعمیم نتایج پروانه‌های CRP مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین صورت که افزایش تراست، گشتاور و راندمان پروانه در حالت دوتایی نسبت به تکی مقایسه و با افزایش متغیرهای نام برده شده در تست مدل مقایسه گردید. نتایج حاکی از دقت مورد قبول روش ون مانن می‌باشند. این شیوه بررسی دقت می‌تواند الگویی برای دقت‌سنجی سایر روش‌های تعمیم نتایج گردد.

۲- معادلات

معادلات پروانه‌های CRP را می‌توان به دو قسمت

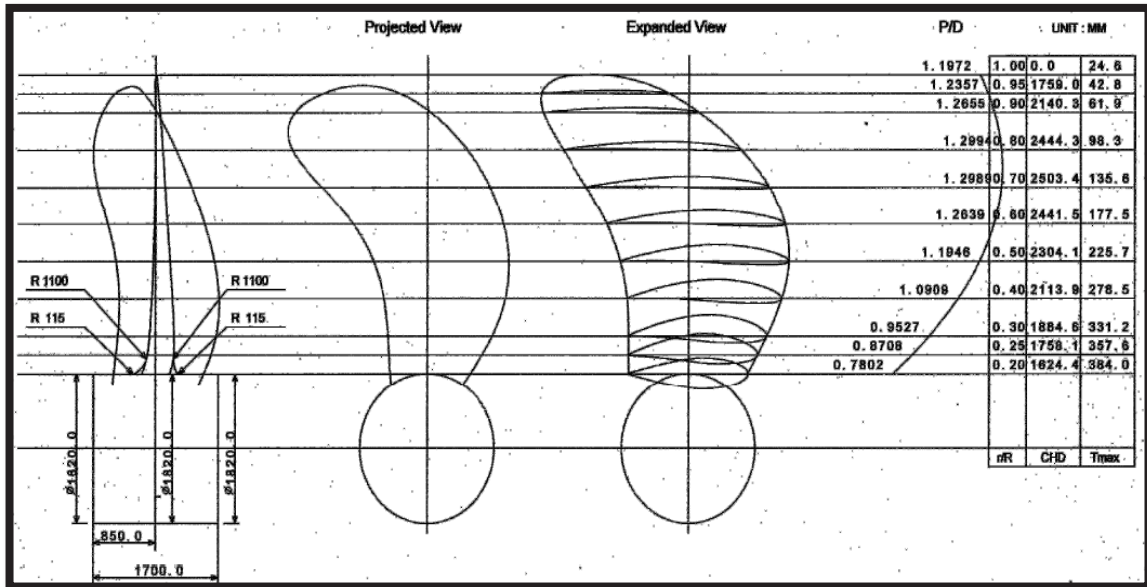
⁵ Van manen

داده‌های مسئله متشکل هستند از: هندسه پروانه‌های جلویی و عقبی واقعی، مشخصات پروانه‌های مدل و سناریو توزیع بار و در نهایت ضرایب پروانه جلویی، عقبی و سیستم رانش CRP در تست مدل. در شکل‌های ۱ و ۲ نمای سطح تصویر شده و نمای گسترش یافته تیغه پروانه‌های جلویی و عقبی دیده می‌شود. این اطلاعات مشتمل هستند بر داده‌هایی همچون نسبت گام به قطر، طول کورد و ضخامت حداکثر در موقعیت‌های مختلف شعاعی.

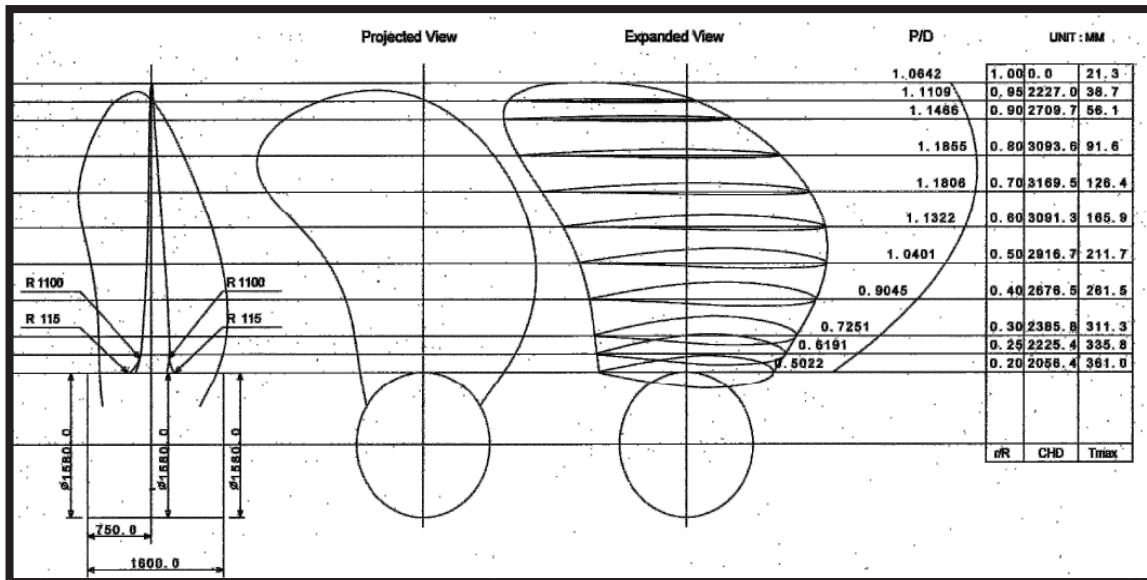
$$K_{Qm} = \frac{n_{fm} Q_{fm} + n_{am} Q_{am}}{\rho n_{fm}^3 D_{fm}^5} \quad (13)$$

در روابط بالا اندیس a مربوط به پروانه عقب و اندیس f مربوط به پروانه جلویی می‌باشد. اندیس‌های m و s نیز مشابه قبل به ترتیب بیانگر مدل و نمونه اصلی می‌باشند. در جدول ۴ تمامی نمادهای بکار رفته در روابط بالا معرفی گردیدند.

۳- داده‌های مسئله



شکل ۱- هندسه و مشخصات پروانه جلویی نمونه واقعی [15]



شکل ۲- هندسه و مشخصات پروانه عقبی نمونه واقعی [15]

این اطلاعات شامل نسبت مقیاس، نحوه توزیع بار، قطر، تعداد تیغه، سرعت پیشروی، گام، ضخامت و طول کورد

در جدول ۱ مشخصات پروانه‌های مدل و سناریو توزیع بار برای پروانه‌های جلویی و عقبی نمایش داده شده است.

می‌باشد. سیستم رانش CRP متشکل است از یک موتور، دو شافت و دو پروانه که هر پروانه روی یکی از این شافت‌ها سوار است و یک گیربکس که با بکارگیری دنده‌های مختلف

نسبت دورهای متفاوتی را می‌تواند بین دو پروانه توزیع نماید. المان‌های نام برده شده به مثابه پیکره اصلی سیستم رانش CRP می‌باشند.

جدول ۱- مشخصات پروانه‌های مدل و سناریو توزیع بار

پروانه عقبی	پروانه جلویی	
1	1	نسبت مقیاس
142	142	
50%	50%	توزیع بار
18/78	21/63	قطر (cm)
4	5	تعداد تیغه
85/6	64/2	سرعت پیشروی در 0/7R (m/s)
22/1	28/1	گام در 0/7R (cm)
3	3/22	ضخامت در 0/7R (mm)
7/35	5/95	طول کورد در 0/7R (cm)

در این قسمت ضرایب K_t و K_q هر یک از پروانه‌های تکی و پروانه CRP مدل برحسب عدد J ارائه شده است. نتایج تست مدل از آزمایشگاه 6 HMRI استخراج شده است [9]. این دیتاهای خام لازمه پردازش‌ها و تحلیل‌های

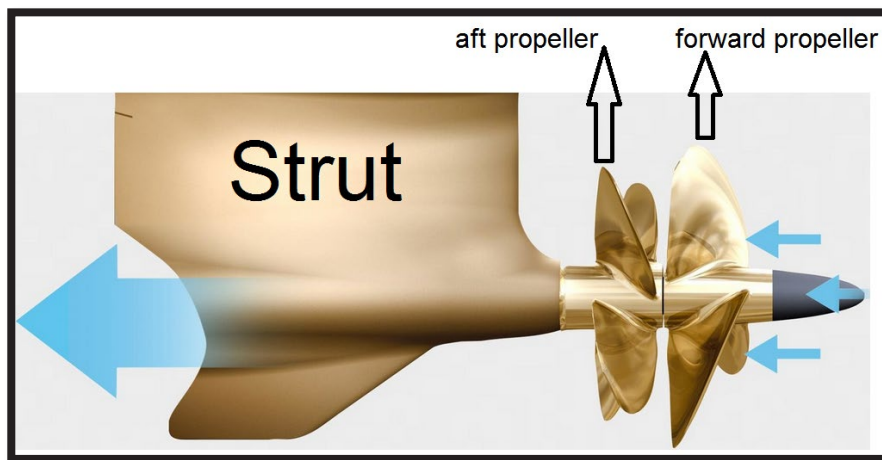
پژوهش حاضر می‌باشند. ضرایب در بازه نسبت پیشروی 0 تا 1/4 با گام 0/2 برای پروانه‌های جلویی و CRP و در بازه نسبت پیشروی 0 تا 1/2 با گام 0/2 برای پروانه عقبی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- ضرایب پروانه جلویی، عقبی و سیستم رانش CRP در تست مدل

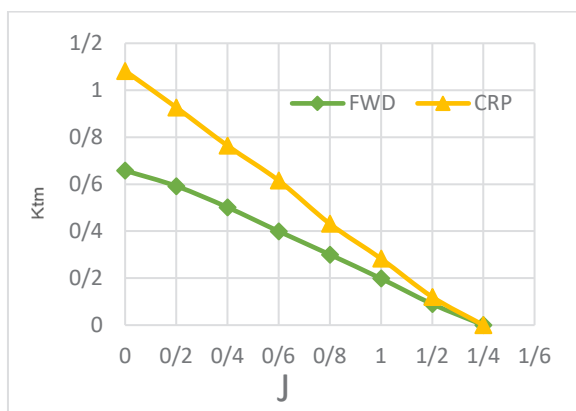
CRP		پروانه عقبی		پروانه جلویی		
10 kg	Kt	10 kg	Kt	10 kg	Kt	
2/1	1/1	0/86	0/58	1/18	0/68	J=0
1/8	0/94	0/77	0/5	1/07	0/6	J=0/2
1/5	0/78	0/6	0/4	0/92	0/5	J=0/4
1/2	0/72	0/47	0/28	0/77	0/4	J=0/6
0/95	0/47	0/28	0/18	0/6	0/3	J=0/8
0/68	0/3	0/12	0/05	0/44	0/2	J=1
0/4	0/13	0	0	0/25	0/1	J=1/2
0	0	--	--	0	0	J=1/4

لازم به ذکر است در حالتی که پروانه‌ها روی شناور نصب می‌شوند پروانه بزرگ‌تر نزدیک بدنه و پروانه کوچک‌تر دورتر از بدنه نصب می‌شود اما در تست آب آزاد (POW)

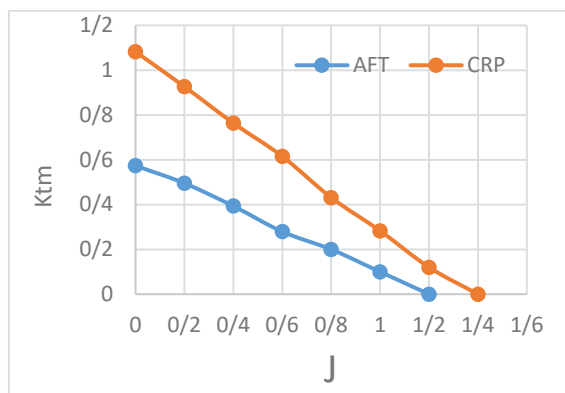
ترتیب قرارگیری عکس می‌شود یعنی پروانه‌ای که کوچک‌تر است نزدیک استرات و پروانه‌ای که بزرگ‌تر است دورتر از استرات قرار می‌گیرد [10].



شکل ۳- چیدمان پروانه‌های سیستم رانش CRP در تست POW



شکل ۴- مقایسه ضریب Ktm سیستم CRP با پروانه جلویی



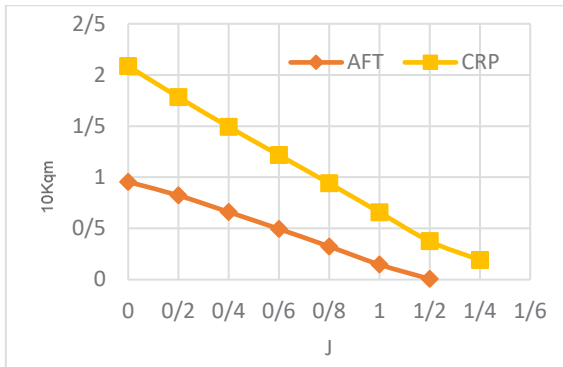
شکل ۵- مقایسه ضریب Ktm سیستم CRP با پروانه عقبی

شیوه بررسی دقت و کارایی روش مورد مطالعه در این مقاله (روش ون مانن) بدین صورت است که با داده‌های خام تست مدل، ابتدا میزان افزایش ضرایب K_t و K_q پروانه CRP نسبت به پروانه‌های تکی مدل مشخص گردید. سپس به کمک کد تعمیم نتایج، با استخراج ضرایب K_t و K_q برای پروانه‌های نمونه واقعی، میزان افزایش ضرایب K_t و K_q پروانه CRP نسبت به پروانه‌های تکی مورد ارزیابی قرار گرفت. با مقایسه میزان این افزایش‌ها در حالت مدل و نمونه واقعی می‌توان به دقت تعمیم نتایج تست آب آزاد پروانه‌های CRP در نسبت پیشروی‌های مختلف پی برد.

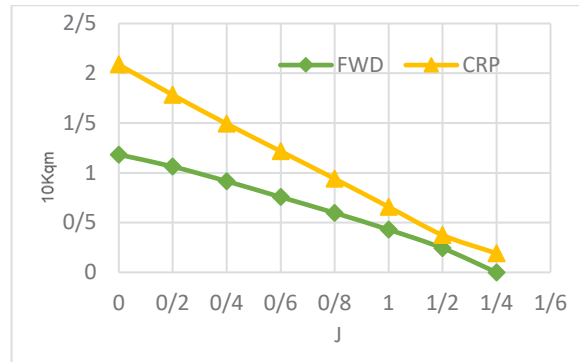
۴- نتایج

در این بخش، دو کار عمده انجام شده است. اول اینکه میزان افزایش ضرایب K_t ، K_q سیستم رانش CRP نسبت به حالت‌های تکی در تست‌های مدل رسم گردید. سپس تعمیم نتایج تست آب آزاد⁷ هر یک از پروانه‌ها به کمک کد تعمیم نتایج انجام و منحنی‌های مطلوب رسم شدند. مجدداً میزان افزایش ضرایب K_t ، K_q سیستم رانش CRP نسبت به حالت‌های تکی در حالت واقعی مورد ارزیابی قرار گرفتند. مقایسه میزان افزایش‌ها در تست مدل نسبت به حالت واقعی در قسمت تحلیل خطا به صورت نمودارهای میله‌ای ارائه گردیدند.

⁷ Open water

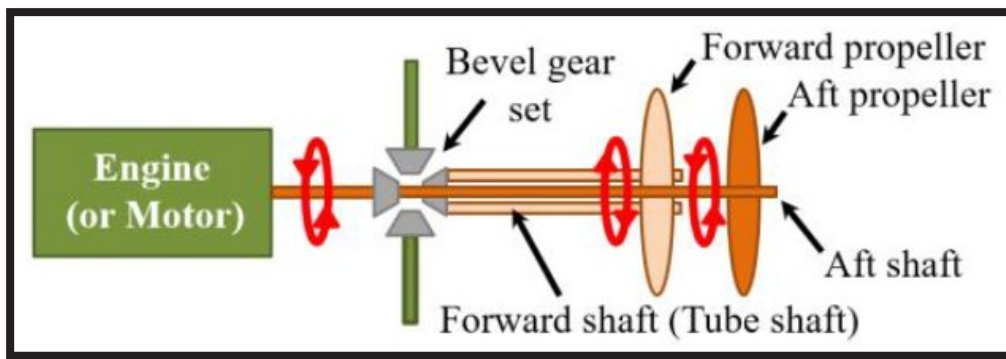


شکل ۷- مقایسه ضریب Kqcm سیستم CRP با پروانه عقبی

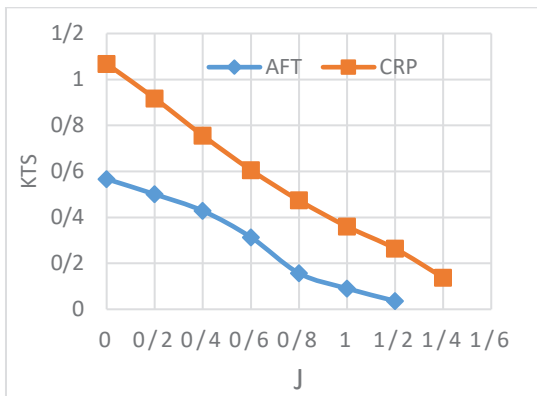


شکل ۶- مقایسه ضریب Kqcm سیستم CRP با پروانه جلویی

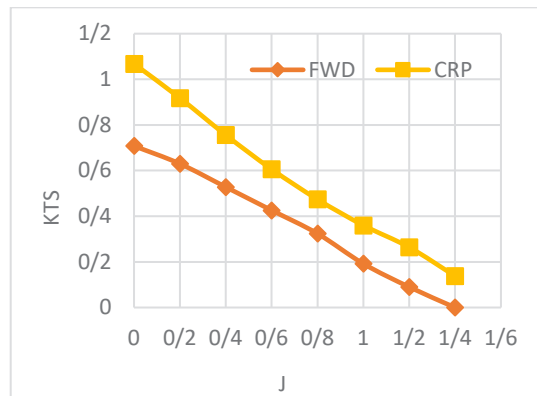
در ادامه نتایج تعمیم داده شده ارائه می‌شود. لازم به ذکر است در نمونه واقعی جهت نصب پروانه‌های جلو و عقب عکس حالتی است که در تست مدل وجود دارد [11]. شکل ۸ گویای این مسئله است.



شکل ۸- چیدمان المان‌های تشکیل دهنده سیستم رانش CRP روی شناور (در حالت واقعی) [16]



شکل ۱۰- مقایسه ضریب Kts سیستم CRP با پروانه عقبی



شکل ۹- مقایسه ضریب Kts سیستم CRP با پروانه جلویی

نمونه واقعی می‌باشد به کمک روابط (۱۶) و (۱۷) استخراج شده است.

$$\Delta K_{tm}(AFT) = \frac{K_{tm,AFT} - K_{tm,CRP}}{K_{tm,AFT}} \times 100 \quad (16)$$

$$\Delta K_{ts}(AFT) = \frac{K_{ts,AFT} - K_{ts,CRP}}{K_{ts,AFT}} \times 100 \quad (17)$$

دیتای شکل ۱۵ که بیانگر مقایسه میزان افزایش ضریب Kq سیستم CRP نسبت به پروانه جلویی در تست مدل و نمونه واقعی می‌باشد به کمک روابط (۱۸) و (۱۹) استخراج شده است.

$$\Delta K_{qm}(FWD) = \frac{K_{qm,FWD} - K_{qm,CRP}}{K_{qm,FWD}} \times 100 \quad (18)$$

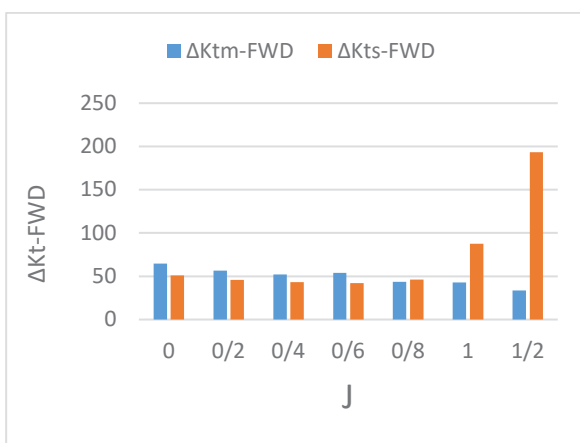
$$\Delta K_{qs}(FWD) = \frac{K_{qs,FWD} - K_{qs,CRP}}{K_{qs,FWD}} \times 100 \quad (19)$$

دیتای شکل ۱۶ که بیانگر مقایسه میزان افزایش ضریب Kq سیستم CRP نسبت به پروانه عقبی در تست مدل و نمونه واقعی می‌باشد به کمک روابط (۲۰) و (۲۱) استخراج شده است.

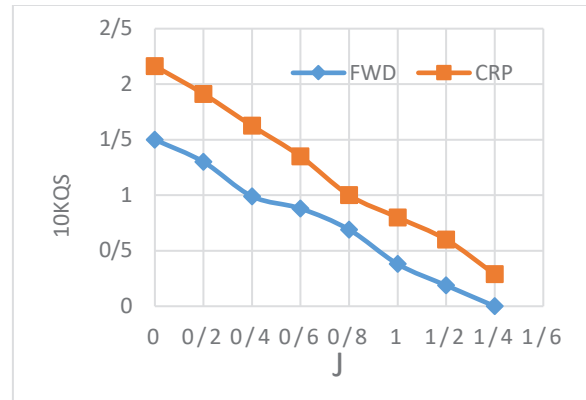
$$\Delta K_{qm}(AFT) = \frac{K_{qm,AFT} - K_{qm,CRP}}{K_{qm,AFT}} \times 100 \quad (20)$$

$$\Delta K_{qs}(AFT) = \frac{K_{qs,AFT} - K_{qs,CRP}}{K_{qs,AFT}} \times 100 \quad (21)$$

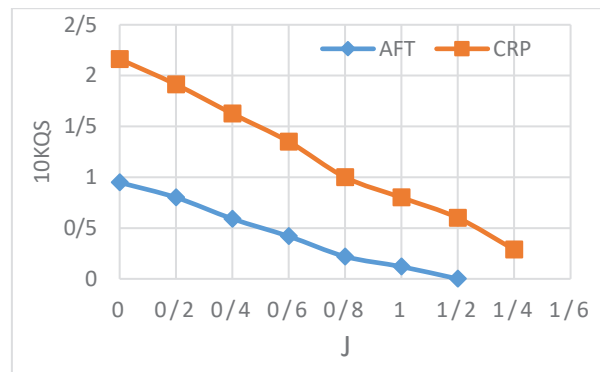
بنابراین می‌توان خطاها در تعمیم نتایج را به صورت شکل‌های (۱۳) تا (۱۶) بیان نمود. از آنجا که نمودارهای قبل در J های مشخص رسم شده‌اند بنابراین خطاها به صورت گسسته در نمودارهای میله‌ای در همان نسبت‌های پیشروی مورد مطالعه قرار گرفتند.



شکل ۱۳- مقایسه میزان افزایش ضریب Kt سیستم CRP نسبت به پروانه جلویی در تست مدل و نمونه واقعی



شکل ۱۱- مقایسه ضریب Kqs سیستم CRP با پروانه جلویی



شکل ۱۲- مقایسه ضریب Kqs سیستم CRP با پروانه عقبی

۵- تحلیل خطا

در این قسمت مقایسه میزان افزایش‌ها در تست مدل نسبت به حالت واقعی در قسمت تحلیل خطا به صورت نمودارهای میله‌ای ارائه می‌گردند. هدف مقایسه میزان افزایش ضرایب Kt و Kq سیستم رانش CRP در تست مدل و نمونه واقعی با یکدیگر است. در نمودارهای این قسمت میزان افزایش ضرایب تراست و گشتاور سیستم CRP نسبت به پروانه‌های جلویی و عقبی از روابط زیر استخراج می‌گردد.

دیتای شکل ۱۳ که بیانگر مقایسه میزان افزایش ضریب Kt سیستم CRP نسبت به پروانه جلویی در تست مدل و نمونه واقعی می‌باشد به کمک روابط (۱۴) و (۱۵) استخراج شده است.

$$\Delta K_{tm}(FWD) = \frac{K_{tm,FWD} - K_{tm,CRP}}{K_{tm,FWD}} \times 100 \quad (14)$$

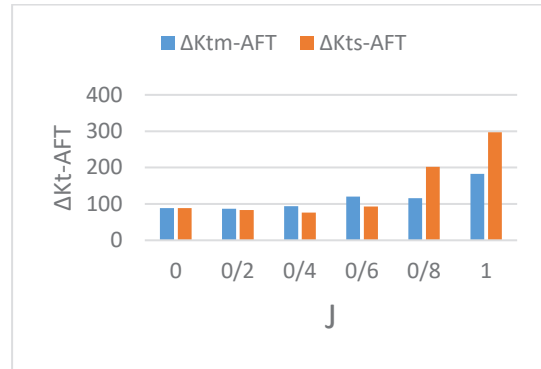
$$\Delta K_{ts}(FWD) = \frac{K_{ts,FWD} - K_{ts,CRP}}{K_{ts,FWD}} \times 100 \quad (15)$$

دیتای شکل ۱۴ که بیانگر مقایسه میزان افزایش ضریب Kt سیستم CRP نسبت به پروانه عقبی در تست مدل و

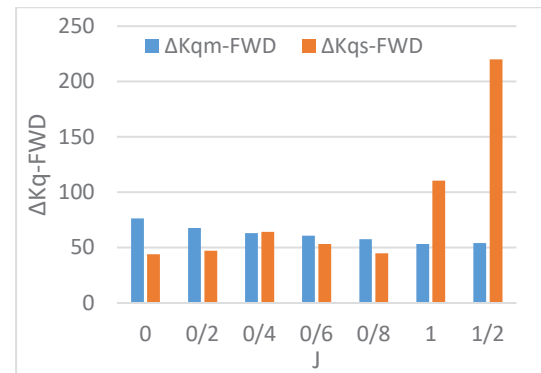
هستیم. نکته دوم اینکه تا قبل از نسبت پیشروی ۰.۸، افزایش ضرایب در تست‌های مدل کمی بیشتر از این مقادیر در نمونه اصلی محاسبه گردید اما بعد از نسبت پیشروی ۰.۸، تغییرات عکس می‌شود به طوری که افزایش ضرایب در نمونه اصلی بیشتر از این مقادیر در تست‌های مدل است. از آنجا که ITTC روابط ارائه شده را در محدوده اعداد رینولدز بالاتر از $Re = 2 \times 10^5$ قابل استناد می‌داند؛ بنابراین می‌توان دلیل این اختلاف فاحش را به عدد رینولدز یا نسبت پیشروی مرتبط دانست. با توجه به اینکه عدد رینولدز و نسبت پیشروی طبق روابط (۱۰) و (۱۱) به یکدیگر مرتبط می‌باشند پس:

$$Re \propto V_R \propto \frac{1}{J} \quad (22)$$

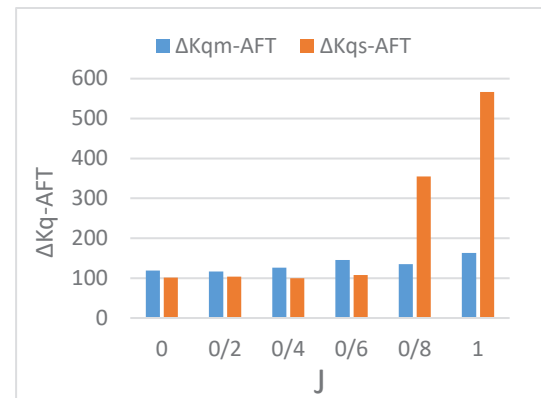
این بدین معنی است که روابط تعمیم نتایج ITTC صرفاً تا یک مقدار معینی از نسبت‌های پیشروی قابل قبول است و بیشتر از آن نمی‌توان به نتایج استناد نمود؛ بنابراین در هر مطالعه موردی، یک مقدار خاصی از J وجود دارد که عدد رینولدز را به عدد $Re = 2 \times 10^5$ می‌رساند. این مقدار J معادل جریان گذرا روی مقطع تیغه‌های پروانه‌ها می‌باشد، یعنی جریانی که در حال انتقال لایه مرزی از آرام به آشفته است. در نمونه اصلی به دلیل بزرگ بودن ابعاد، چه در دوره‌های پایین و چه در دوره‌های بالا، عدد رینولدز در محدوده قابل قبول بوده و جریان کاملاً آشفته است؛ اما در مدل، جریان صرفاً در دوره‌های بالا آشفته و در دوره‌های پایین در محدوده گذرا قرار می‌گیرد. فرق عمده لایه مرزی گذرا و کاملاً آشفته در رفتار میکروسکوپی سیال است [12]. در پایین دست جریان و در پشت مقطع تیغه‌های پروانه که به فرم هیدروفویل می‌باشند، لایه مرزی دچار جدایش می‌گردد. اگر لایه مرزی کاملاً آشفته باشد بین لایه‌های جدا شده پایین و بالا، و یک^۸ تشکیل می‌شود و اگر لایه مرزی گذرا باشد بین لایه‌های جدا شده پایین و بالا، ریزش گردابه^۹ اتفاق می‌افتد [13]. در شکل زیر تفاوت شماتیک بین ویک و ریزش گردابه نمایش داده شده است.



شکل ۱۴- مقایسه میزان افزایش ضریب Kt سیستم CRP نسبت به پروانه عقبی در تست مدل و نمونه واقعی



شکل ۱۵- مقایسه میزان افزایش ضریب Kq سیستم CRP نسبت به پروانه جلویی در تست مدل و نمونه واقعی

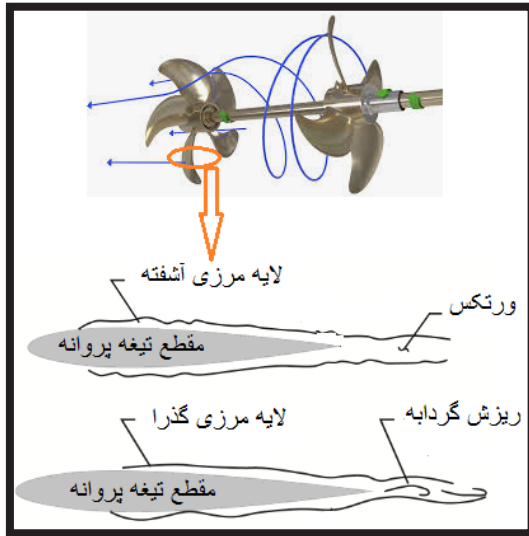


شکل ۱۶- مقایسه میزان افزایش ضریب Kq سیستم CRP نسبت به پروانه عقبی در تست مدل و نمونه واقعی

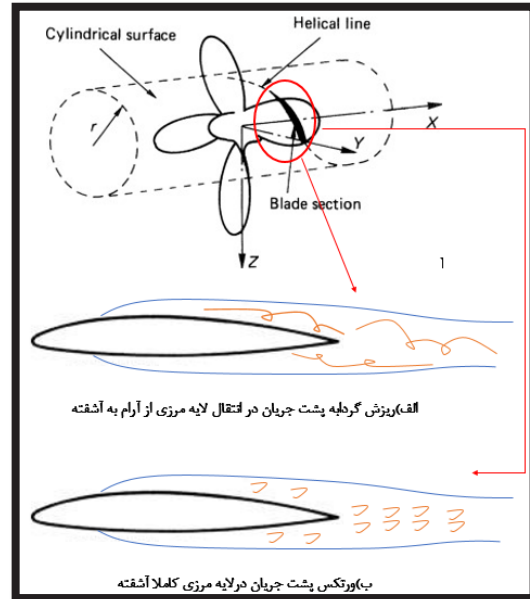
با توجه به نمودارهای میله‌ای بالا، می‌توان به نکات مهمی پی برد. نکته اول اینکه از شکل‌های (۱۳) تا (۱۶) چنین برمی‌آید افزایش ضرایب تا قبل از نسبت پیشروی ۰.۸ در مدل و نمونه اصلی به یک اندازه تخمین زده شده است. در نتیجه روابط تعمیم نتایج در این محدوده نسبت پیشروی دقت قابل قبولی دارند؛ اما از نسبت پیشروی ۰.۸ به بعد شاهد اختلاف فاحش بین نتایج مدل و نمونه اصلی

⁹ Vortex Shedding

⁸ Wake



شکل ۱۸- نمایش ویک و ورنکس اطراف مقطع تیغه پروانه جلویی CRP رانش



شکل ۱۷- تفاوت ویک و ریش گردابه (ورنکس) در لایه مرزی گذرا و مغشوش

۶- جمع بندی و پیشنهادها

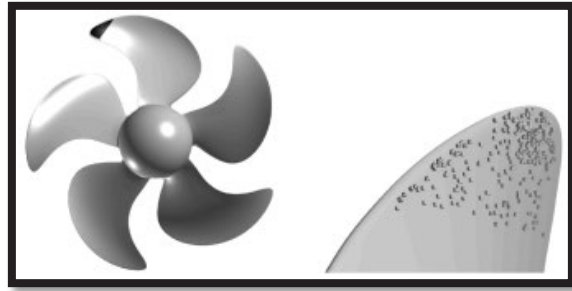
اصلی ترین چالش در تعمیم نتایج پروانه های CRP در نسبت پیشروی های بالا (رینولدزهای پایین) می باشد که وقوع لایه مرزی گذرا محتمل است. از آنجاکه عدد رینولدز به سرعت وابسته است بنابراین می توان به دو روش لایه مرزی را از حالت گذرا به کاملاً آشفته تبدیل نمود. سرعت یک کمیت برداری است یعنی دارای اندازه و جهت است؛ بنابراین با تغییر اندازه سرعت و جهت آن می توان در رینولدز یا رژیم جریان تغییر ایجاد نمود. تغییر اندازه سرعت بدین معنی است که تست ها را در دوره های بالاتری انجام دهیم تا از صحت و سقم تعمیم نتایج آن مطمئن باشیم؛ اما تغییر بردار سرعت بدین معنی است که سطح پروانه مدل را طوری تغییر دهیم تا منجر به اغتشاشات مصنوعی گردد؛ این کار می تواند با روش های خاص صورت گیرد از جمله پوشش تیغه های پروانه با ورق های سنباده، ایجاد سوراخ های بسیار ریز روی تیغه ها یا سندبالاست کردن سطح. نمونه ای از زیر کردن سطح پروانه در شکل (۱۹) نمایش داده شده است.

حال می توان ماهیت جریان پایین دست را با توجه به نسبت پیشروی به صورت جدول زیر دسته بندی نمود.

جدول ۳: مقایسه ماهیت جریان پشت مقطع تیغه پروانه در اعداد پیشروی مختلف

	$J < 0.8$	$J > 0.8$	
تست مدل	ویک	ریش گردابه	
نمونه واقعی	ویک	ویک	

در نتیجه در مقطع تیغه پروانه های CRP نیز می توان چنین وضعیتی را در نظر گرفت. با توجه به اینکه فاصله بین دو پروانه جز متغیرهای طراحی می باشد بنابراین اگر این فاصله، به اندازه کافی بزرگ نباشد آنگاه نمی توان برای ریش گردابه و ویک تفاوت قائل شد چون هیچ یک از رفتارهای میکروسکوپی سیال (همچون تشکیل ویک یا ریش گردابه) فرصتی برای بالفعل شدن نخواهند داشت [14]. اما در هر وضعیتی می توان در پایین دست پروانه عقبی چنین تحلیل هایی را در منطقی دانست. در هر حالتی تلفات چرخشی پروانه جلویی حذف می شود چون انرژی چرخشی توسط پروانه عقبی جذب می شود (شکل ۱۸) اما بهترین طراحی مربوط به حالتی است که گردابه ها در پایین دست جریان به ریزترین سایز رسیده و دوران سیال به سمت صفر میل کند.



شکل ۱۹- شماتیک زبرسازی سطوح پروانه جهت نیل به رینولدزهای بالا و دقت مناسب در تعمیم نتایج تست مدل [17]

نمادها

جدول ۴- معرفی نمادهای بکار رفته در فرمول‌ها

معرفی نماد	نماد	معرفی نماد	نماد
گام پروانه در 0/7R	P	ضریب تراست مدل	K_{tm}
عدد رینولدز مدل	Re_{nco}	ضریب گشتاور مدل	K_{qm}
بیشترین ضخامت پروانه در 0/7R	t	ضریب تراست نمونه اصلی	K_{ts}
طول کورد پروانه در محل 0/7R	C	ضریب گشتاور نمونه اصلی	K_{qs}
برآیند سرعت‌های پیشروی و چرخشی پروانه	V_R	قطر پروانه مدل	D_{fm}
سرعت پیشروی پروانه مدل	V_{Af}	قطر پروانه اصلی	D_{fs}
دور پروانه مدل جلویی	n_{fm}	چگالی سیال	ρ
دور پروانه مدل عقبی	n_{am}	تراست پروانه مدل جلویی	T_{fm}
پروانه جلویی	FWD	تراست پروانه مدل عقبی	T_{am}
پروانه عقبی	AFT	گشتاور پروانه مدل جلویی	Q_{fm}
افزایش ضریب تراست سیستم CRP نسبت به پروانه‌های جلویی یا عقبی در تست مدل	ΔK_{tm}	گشتاور پروانه مدل عقبی	Q_{am}
افزایش ضریب گشتاور سیستم CRP نسبت به پروانه‌های جلویی یا عقبی در تست مدل	ΔK_{qm}	نسبت پیشروی پروانه	J
افزایش ضریب تراست سیستم CRP نسبت به پروانه‌های جلویی یا عقبی در نمونه واقعی	ΔK_{ts}	تعداد پره‌های پروانه	Z
افزایش ضریب گشتاور سیستم CRP نسبت به پروانه‌های جلویی یا عقبی در نمونه واقعی	ΔK_{qs}	لزجت دینامیکی سیال	μ
		زبری است که 3e-5 در نظر گرفته می‌شود	k_p

- 2- Hu, Jian, Fugeng Li, Shili Sun, Yingzhu Wang, and Qinghao Yan. "Numerical simulation of unsteady hydrodynamic performance of CRP." *Ocean Engineering* 266 (2022): 113165
- 3- Zhang, Yuxin, Xuankai Cheng, and Liang Feng. "Numerical investigation of the unsteady flow of a hybrid CRP"

منابع

- 1- Mohan, Mahish, Hannu Jukola, and Kari Kyyrö. "Numerical Investigation on Performance Prediction of Push-Pull CRP Configuration.", 7th International Symposium of Marine Propulsors smp'2022, Wuxi, China, October 17-21, 2022,

- 4- pod propulsion system at behind-hull condition." *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering* 12 (2020): 918-927.
- 5- Takahashi K, Sahoo PK, Evans J. Numerical estimation of hydrodynamic performance of marine propellers using CFD. In Proceedings of the International Conference on Ships and Offshore Structures 2018 Sep (pp. 17-19).
- 6- Wang, Zhan-Zhi, Ying Xiong, Rui Wang, and Chen-hua Zhong. "Numerical investigation of the scale effect of hydrodynamic performance of the hybrid CRP pod propulsion system." *Applied Ocean Research* 54 (2016): 26-38.
- 7- Oh, Semyun, Jinsuk Lee, Kwang-Jun Paik, Soonho Choi, Hyoung-Gil Park, and Tetsuji Hoshino. "Study on the Hydrodynamic Characteristics of Contra-Rotating Propeller System." In *ISOPE International Ocean and Polar Engineering Conference*, pp. ISOPE-I. ISOPE, 2014.
- 8- Inukai, Yasuhiko. "Development of contra-rotating propeller with tip-raked fins." In *Second International Symposium on Marine Propulsors, Hamburg, Germany*, pp. 15-17. 2011.
- 9- ITTC. "Podded Propulsion Tests and Extrapolation", Resistance and Propulsion Committee of the 29th ITTC, 2021
- 10- Kravitz, Eyal. *Analysis and experiments for contra-rotating propeller*. Diss. Massachusetts Institute of Technology, 2011.
- 11- Tran, Tien-Anh, and Thi-Uyen-Uyen Nguyen. "Performance Investigation of the Propulsion System Using Contra Rotating Propeller." *International Conference on Material, Machines and Methods for Sustainable Development*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2022
- 12- De Croo, Ruben, Thomas Van Lierde, and Frederik De Belie. "Study and Validation of a Contra-Rotating Dual Rotor Switched Reluctance Machine in Marine Propulsion." *2023 IEEE International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC)*. IEEE, 2023
- 13- Ebus T, Dietz M and Hupfer A. Experimental and numerical studies on small contra-rotating electrical ducted fan engines[J]. *CEAS Aeronautical Journal*, 2021, 12:559-571.
- 14- YAN Wenhui, TANG Sijia and WANG Fengming, et al. Unsteady aerodynamic interactions of contra rotating propeller[J]. *Journal of Aerospace Power*, 2021,36(7):1398-1405.
- 15- Tang J, Wang X and Duan D, et al. Optimisation and analysis of efficiency for contra-rotating propellers for high-altitude airships[J]. *Aeronautical Journal*, 2019, 123(1263):706-726
- 16- Min, Keh-Sik, Bong-Jun Chang, and Heung-Won Seo. "Study on the Contra-Rotating Propeller system design and full-scale performance prediction method." *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering* 1.1 (2009): 29-38.
- 17- Shin, Homin, Junghwan Chang, and Dokwan Hong. "Design and characteristics analysis of coaxial magnetic gear for contra-rotating propeller in yacht." *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 67.9 (2019): 7250-7259.
- 18- Asnaghi, Abolfazl, et al. "Propeller tip vortex mitigation by roughness application." *Applied Ocean Research* 106 (2021): 102449.

یادگیری ماشین در شناورهای تندرو

فرهاد کیانی فلاورجانی

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

چکیده:

شناورهای تندرو نوعی از شناورهای کوچک و با سرعت بالا هستند که در حوزه‌های گشت دریایی، حفاظت از مرزهای آبی و دفاع از حملات و تهاجم‌های احتمالی متجاوزان مانند دزدان دریایی و کشورهای متخاصم به مرزهای آبی و دریاهای یک کشور کاربرد فراوان دارند. شناورهای تندرو را شاید بتوان بارزترین مشخصه قدرت دریایی جمهوری اسلامی ایران در منطقه خلیج فارس و تنگه هرمز و درعین حال بزرگ‌ترین چالش عملیاتی و تاکتیکی برای ناوگان نیروی دریایی آمریکا در این منطقه برشمرد. چالشی که غربی‌ها و آمریکایی‌ها نیز به آن اعتراف کرده‌اند و یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین تاکتیک‌های ایران در جنگ دریایی را افزایش توان عملیاتی در نبرد نامتقارن با به‌کارگیری شناورهای تندرو و تاکتیک یورش جمعی علیه اهداف می‌دانند. شناورهای تندرو در سایر نقاط دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی آنچه در ایران اتفاق افتاده و تولید علم محسوب می‌شود. در این راستا استفاده و به‌کارگیری از فناوری‌های نوظهور (هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، یادگیری تقویتی، یادگیری عمیق، ...) در حوزه شناورهای تندرو از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. یادگیری ماشین در حال تبدیل شدن به ابزاری قدرتمند برای طراحان و سازندگان شناورهای تندرو است. این فناوری می‌تواند در مراحل مختلف فرآیند طراحی و ساخت به کار گرفته شود تا منجر به شناورهایی کارآمدتر، ایمن‌تر و مقرون به‌صرفه‌تر شود. یادگیری ماشین می‌تواند برای پیش‌بینی عملکرد شناور در شرایط مختلف عملیاتی استفاده شود. این امر می‌تواند به طراحان و سازندگان کمک کند تا شناورهایی را بسازند که نیازهای خاص مشتریان را برآورده کنند. یادگیری ماشین می‌تواند برای بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌های پیش‌رانه شناور، مانند موتورها و پروانه‌ها استفاده شود. این امر می‌تواند به کاهش مصرف سوخت کمک کند. یادگیری ماشین می‌تواند برای تجزیه و تحلیل داده‌های حسگر از شناور برای پیش‌بینی خرابی‌های احتمالی استفاده شود. این امر می‌تواند به تعمیر و نگهداری پیشگیرانه و کاهش زمان خرابی کمک کند. در این مقاله به موضوع کاربرد یادگیری ماشین در طراحی و ساخت شناورهای تندرو پرداخته شده، مقالات پر استناد مورد بررسی و محصولات مبتنی بر هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در این حوزه گزارش شده است.

واژه‌های کلیدی:

شناورهای تندرو، فناوری‌های نوظهور، یادگیری ماشین.

Machine learning in High Speed Craft

Farhad Kiani Falavarjani

Malek Ashtar University of Technology

Absrtact

Fast vessels can perhaps be considered the most obvious characteristic of the Islamic Republic of Iran's maritime power in the Persian Gulf and Strait of Hormuz region, and at the same time, the biggest operational and tactical challenge for the US Navy fleet in this region. High-speed boats are used in other parts of the world, but what happened in Iran is considered the production of science. In this regard, the use and application of emerging technologies (artificial intelligence, machine learning, reinforcement learning, deep learning,...) in the field of high-speed vessels is very important. Machine learning is becoming a powerful tool for designers and builders of speedboats. This technology can be applied at various stages of the design and construction process to result in more efficient, safer and cost-effective vessels. Machine learning can be used to predict float performance under various operating conditions. This can help designers and manufacturers to create vessels that meet the specific needs of customers. Machine learning can be used to optimize the performance of floating propulsion systems, such as engines and propellers. This can help reduce fuel consumption. Machine learning can be used to analyze sensor data from the vessel to predict potential failures. This can help with preventive maintenance and reduce downtime. In this article, the application of machine learning in the design and construction of high-speed vessels is discussed, the most cited articles are reviewed and products based on artificial intelligence and machine learning are reported in this field.

Keywords:

Fast floats, emerging technologies, machine learning,

شناورهای تندرو نظامی به عنوان یک دسته خاص از وسایل نقلیه نظامی، برای انجام عملیات‌های ویژه و مخصوص طراحی شده‌اند که نیازمندی‌های خاصی را در محیط‌های آبی مرتفع می‌کنند. این نوع شناورها به عنوان بخشی از نیروهای ویژه نظامی، از تکنولوژی پیشرفته و طراحی‌های مخصوص بهره می‌برند تا بتوانند در شرایط مختلفی مانند عملیات در آب‌های متلاطم، حفاظت از سواحل، نقل و انتقال نیروهای ویژه و انجام عملیات مخفیانه استفاده شوند. شناورهای تندرو نظامی دارای برخی از ویژگی‌های زیر هستند [1-4]:

پایداری: این شناورها باید بتوانند در شرایط آبی مختلف از جمله دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، و دریاها به خوبی عمل کنند. آن‌ها باید پایداری خوبی را در برابر موج‌ها و تغییرات آب و هوایی داشته باشند تا بتوانند عملیات خود را با امنیت بیشتری انجام دهند.

مانورپذیری: شناورهای تندرو باید قابلیت حرکت در آب‌های کم عمق و نزدیک به سواحل را داشته باشند. آن‌ها معمولاً قابلیت تأمین مختصات دقیق در مناطق شهری یا حتی در محیط‌های تنگ و مخفی را دارا هستند.

انتقال نیروهای ویژه: این شناورها برای انجام عملیات ویژه و نقل و انتقال نیروهای ویژه یا تجهیزات حساس طراحی شده‌اند. آن‌ها باید بتوانند سریعاً نیروها و تجهیزات را به محل مورد نظر منتقل کنند و در عین حال امنیت این نقل و انتقال را تأمین کنند.

مسلح بودن: برخی از شناورهای تندرو نظامی مجهز به سلاح‌های مختلف هستند که برای دفاع، حمله، یا اجرای عملیات ویژه استفاده می‌شوند. این سلاح‌ها ممکن است شامل تسلیحات اتوماتیک، موشک‌ها، یا سیستم‌های دفاعی باشند که امکان مقاومت در برابر حملات مختلف را فراهم می‌کنند.

عملیات مخفی: بسیاری از عملیاتی که این شناورها انجام می‌دهند، به دلیل خودرویت و ویژگی‌های خاص آن‌ها، باید به صورت مخفیانه و یا با استفاده از تاکتیک‌های نوین و مخفیانه صورت گیرد. این شامل نفوذ به سواحل دشمن، جمع‌آوری اطلاعات، یا حتی انجام عملیات ضربه‌آمیز است.

مقاومت در برابر حملات: شناورهای تندرو نظامی

مجهز به سیستم‌های مختلف دفاعی هستند که آن‌ها را در برابر حملات از جمله حملات موشکی، معدنی، یا سایر تهدیدات محافظت می‌کنند. این امکانات شامل سیستم‌های ضد موشک، سیستم‌های خودکار رد تهاجم و یا تجهیزات دیگر برای حفاظت از نیروها و تجهیزات در دوران عملیات مختلف است.

شناورهای تندرو نظامی به دلیل تنوع زیاد و ویژگی‌های مختلفی که دارند، به عنوان ابزارهای حیاتی در عملیات‌های نظامی به شمار می‌روند. امروزه توان دریایی ارتش‌ها و یگان‌های نظامی کشورهای جهان با توجه به گسترش سریع حضور نظامیان در عرصه دریاها، به دلیل وجود منافعی که در آب‌ها با پیشرفت تکنولوژی‌ها قابل کشف است؛ رو به افزایش است. شناورهای تندرو شناورهای پیچیده‌ای هستند و به لحاظ هیدرودینامیک و فرم بدنه جزو شناورهای پیشرفته در سطح دنیا محسوب می‌شوند. کشور ما نیز از این تکنولوژی عقب نیست و طبق برآوردهای مؤسسات ترازبایی در بدبینانه‌ترین حالت در رتبه یکم تا دهم دنیا قرار داریم ولی به اعتقاد برخی کارشناسان ایران در رتبه یکم تا پنجم دنیا قرار دارد. در قسمت زیر معرفی مختصری از شناور تندرو ذالفقار محصول صنایع دفاعی کشور ارائه می‌شود:

شناور تندرو ذوالفقار: نماد سرعت و قابلیت

هجومی

شناورهای تندرو کلاس ذوالفقار از جمله شناورهای تندرو مشهور ایرانی است که به صورت بومی طراحی و ساخته شده و نسبت به شناور تندروی آذرخش دارای برد عملیاتی و سرعت بالاتری است. این شناور مدل جدیدی از شناورهای کلاس خود محسوب می‌شود که با دارا بودن موشک‌های ضد کشتی و سرعت مناسب قابلیت عملیات در شرایط مختلف دریایی را دارد. ساخت تمامی اجزای شناورهای ذوالفقار همچون سیستم‌های رانش، شفت و پروانه و دیگر اجزاء در داخل ایران انجام می‌شود. شناور ذوالفقار برای انجام حملات ضربتی و تهاجمی (بزن و در رو) علیه ناوهای دشمن طراحی شده و در انجام این گونه ماموریت‌ها توانایی بالایی دارد. ذوالفقار به عنوان یک شناور گشت دریایی و تهاجمی مطرح بوده و براساس ایده حمله سریع به شناورهای دشمن طراحی و به موشک‌های

ضد کشتی کوتاه برد و سامانه راداری دریایی تجهیز شده است. شناور ذوالفقار یک شناور گشت دریایی است که طراحی آن بر اساس حمله سریع به کشتی‌های دشمن انجام شده و مجهز به موشک و تیربار است. بدنه این شناور براساس استانداردهای جهانی طراحی و ساخته شده است و از پیشرفته‌ترین تجهیزات بومی مخابراتی، ناوبری و الکترونیکی نیز برخوردار است. نوع جدید شناور ذوالفقار، مجهز به موشک نصر است که طراحی آن براساس حمله سریع به کشتی‌های دشمن انجام شده است. در طراحی و ساخت این شناور تندرو از پیشرفته‌ترین و جدیدترین فناوری‌ها استفاده شده است. کارایی مناسب، سرعت بالا، مانور سریع و دریانوردی خوب از ویژگی‌های نسل جدید شناور ذوالفقار به شمار می‌آید. طول شناور ذوالفقار در حدود ۱۶ متر، پهنای بدنه حدود ۴ متر، ارتفاع ستون یک متر، بارگیری استاندارد ۱۴ تن بوده که با دارابودن دو موتور دیزلی دارای سرعت در حدود ۵۲ گره دریایی معادل ۹۷ کیلومتر بر ساعت است. بُرد عملیاتی شناور تندرو ذوالفقار ۳۲۰ مایل دریایی معادل حدود ۵۷۶ کیلومتر است. ذوالفقار به دو تیربار ۱۲.۷ میلیمتری در عقب و جلو و موشک ضد کشتی کوثر با برد ۲۵ کیلومتر مجهز شده است. البته شناور تندروی ذوالفقار به موشک‌های کوثر در نسل قدیم و نصر ۱ در نسل جدید مجهز شده است. شناور ذوالفقار قابلیت نصب تیربارهای ۱۲.۷ و ۲۳ میلیمتری و همچنین راکت‌های ۱۰۷ و ۱۲۲ میلیمتری بسته به نیاز یگان رزمی را دارد. این شناور که به پیشرفته‌ترین تجهیزات الکترونیک، مخابراتی و اپتیکی مجهز است، دارای سرعت و قدرت مانور قابل توجهی است و طراحی آن بر اساس شرایط آب و هوایی و ویژگی‌های خلیج فارس انجام شده است. این شناور تندرو همچنین قابلیت حمل سه نفر خدمه را دارد. رادار جستجوگر این قایق نیز از نوع سطحی بوده و از حداقل بُرد ۳۰ کیلومتری برخوردار است.



شکل ۱- نمایی از شناور تندرو پیشرفته ذوالفقار

۲- مفهوم یادگیری ماشین و کاربرد آن در شناورهای دریایی

شناورهای تندرو نظامی به عنوان ابزاری حیاتی در ایجاد توانایی‌های عملیاتی نظامی به روز، ایفای نقش مهمی دارند و در محافل نظامی به دلیل انعطاف‌پذیری و توانایی‌های خود بسیار ارزشمند شناخته می‌شوند. یادگیری ماشین به عنوان یک زیرمجموعه مهم و پرکاربرد از هوش مصنوعی، ماشین‌ها را قادر می‌سازد تا از داده‌ها یاد بگیرند و بر اساس الگوهای موجود در داده‌ها، تصمیماتی را بگیرند یا پیش‌بینی‌هایی ارائه دهند [4-7]. این فناوری بر اساس الگوریتم‌ها و مدل‌های ریاضی و آماری کار می‌کند که به طور خودکار از داده‌ها یاد می‌گیرند و توانایی تعمیم آن‌ها به داده‌های جدید را دارند [8].

۲-۱- فرایند یادگیری ماشین

تهیه و پیش‌پردازش داده‌ها: این مرحله شامل جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای آموزش مدل است. این داده‌ها ممکن است از منابع مختلفی مانند پایگاه داده‌ها، فایل‌های مختلف، یا حتی از حسگرها و دستگاه‌های مختلف جمع‌آوری شوند [8-10]. پس از جمع‌آوری، داده‌ها نیاز به پیش‌پردازش دارند که شامل پاکسازی داده‌های ناکارآمد، حذف داده‌های تکراری، تبدیل داده‌های نامناسب به فرمت‌های مناسب برای مدل‌های یادگیری ماشین می‌شود [10-13].

انتخاب و آموزش مدل: پس از آماده‌سازی داده‌ها، مدلی از میان مدل‌های مختلف یادگیری ماشین انتخاب می‌شود. نوع مدل به بستگی از نوع مسئله ممکن است تعیین شود؛ برای مثال، برای مسائل طبقه‌بندی از مدل‌هایی مانند درخت تصمیم، شبکه‌های عصبی، یا ماشین‌های بردار پشتیبان استفاده می‌شود [13-15]. مدل پس از انتخاب، بر روی داده‌های آموزشی آموزش داده می‌شود؛ به این معنی که مدل با داده‌ها آشنا می‌شود و الگوهای موجود در داده‌ها را یاد می‌گیرد [16-18].

ارزیابی مدل: پس از آموزش، مدل باید با استفاده از داده‌هایی که قبلاً مشاهده نکرده است (داده‌های ارزیابی یا تست) ارزیابی شود [19]. این ارزیابی نشان می‌دهد که مدل به درستی درک و پیش‌بینی می‌کند یا خیر و

• شبکه‌های عصبی عمیق^۴

شبکه‌های عصبی عمیق می‌توانند برای تحلیل داده‌های پیچیده و بزرگ استفاده شوند. در شناورهای تندرو نظامی، این شبکه‌ها می‌توانند برای تشخیص تهدیدات و تحلیل داده‌های سنسوری به کار روند. کاربردها:

• تشخیص تصویر و ویدئو

شبکه‌های عصبی عمیق می‌توانند برای تحلیل تصاویر و ویدئوهای گرفته شده توسط دوربین‌ها و رادارها استفاده شوند. این تحلیل‌ها می‌توانند شامل تشخیص اشیاء مشکوک، شناسایی اهداف و تحلیل حرکات باشند.

• پردازش زبان طبیعی

برای تحلیل ارتباطات و دستورات صوتی، شبکه‌های عصبی عمیق می‌توانند استفاده شوند. این کاربرد می‌تواند به بهبود سیستم‌های فرمان‌دهی و کنترل کمک کند.

• یادگیری تقویتی

یادگیری تقویتی یک روش یادگیری مبتنی بر پاداش و مجازات است که در آن الگوریتم‌ها با تعامل با محیط یاد می‌گیرند. این روش می‌تواند برای توسعه سیستم‌های خودمختار در شناورهای تندرو نظامی استفاده شود. کاربردها:

• کنترل خودمختار

الگوریتم‌های یادگیری تقویتی می‌توانند برای توسعه سیستم‌های کنترل خودمختار که قادر به تصمیم‌گیری در شرایط مختلف محیطی و عملیاتی هستند؛ استفاده شوند. این سیستم‌ها می‌توانند وظایفی مانند گشت‌زنی، تعقیب و گریز و حمله به اهداف را به عهده بگیرند.

• بهینه‌سازی مسیر

یادگیری تقویتی می‌تواند برای بهینه‌سازی مسیر حرکت شناور در شرایط مختلف جوی و دریایی استفاده شود.

• ماشین‌های بردار پشتیبان^۵

ماشین‌های بردار پشتیبان می‌توانند برای طبقه‌بندی داده‌ها و شناسایی الگوها استفاده شوند. این الگوریتم‌ها می‌توانند برای تشخیص تهدیدات و تحلیل داده‌های حسگرها در شناورهای تندرو نظامی به کار روند.

اطمینان می‌یابیم که مدل به صورت عملی کار می‌کند یا خیر.

بهینه‌سازی و تنظیم مدل: اگر عملکرد مدل نامناسب باشد، می‌توان مدل را بهینه‌سازی کرد [20]. این می‌تواند شامل تنظیم پارامترهای مدل، انتخاب بهترین هایپرپارامترها، یا حتی تغییر نوع مدل باشد تا بهترین عملکرد را برای مسئله مورد نظر بدست آوریم.

استفاده و پیاده‌سازی: پس از آموزش و ارزیابی، مدل آماده استفاده در برنامه‌ها و سیستم‌های واقعی می‌شود [20-21]. مدل می‌تواند برای پیش‌بینی، طبقه‌بندی، یا حل مسائل دیگر استفاده شود و خروجی‌های آن به عنوان تصمیم‌گیری‌های خودکار و مبتنی بر داده در محیط‌های مختلف استفاده شود.

۲-۲- انواع‌های یادگیری ماشین:

• یادگیری نظارت‌شده^۱ در این نوع یادگیری، مدل با استفاده از داده‌های آموزشی که دارای برچسب هستند (برای مثال کلاس‌ها در مسئله طبقه‌بندی) آموزش داده می‌شود تا بتواند برچسب داده‌های جدید را پیش‌بینی کند [22-25].

• یادگیری بدون نظارت^۲ در این نوع یادگیری، داده‌های آموزشی بدون برچسب وجود دارند و مدل باید الگوها و ساختارهای موجود در داده‌ها را شناسایی کند. به عنوان مثال، الگوریتم‌های خوشه‌بندی از این نوع یادگیری استفاده می‌کنند [22].

• یادگیری تقویتی^۳ در این نوع یادگیری، مدل با انجام اقدامات در یک محیط و مشاهده پاداش‌ها و جریمه‌های مرتبط با آن اقدامات، به صورت تجربی یاد می‌گیرد که چگونه بهترین عمل را در هر وضعیت انجام دهد.

۳-۲- معرفی الگوریتم‌های یادگیری ماشین

یادگیری ماشین شامل مجموعه‌ای از الگوها و الگوریتم‌ها است که می‌توانند به بهبود عملکرد شناورهای تندرو نظامی کمک کنند. در ادامه به معرفی و توضیح برخی از مهم‌ترین این الگوریتم‌ها و کاربردهای آن‌ها در این زمینه می‌پردازیم [25-28].

¹ Supervised Learning

² Unsupervised Learning

³ Reinforcement Learning

⁴ Deep Neural Networks

⁵ Support Vector Machines

کاربردها:

تشخیص تهدیدات: ماشین‌های بردار پشتیبان می‌توانند برای شناسایی تهدیدات و تحلیل الگوهای رفتاری غیرعادی استفاده شوند. این الگوریتم‌ها می‌توانند داده‌های حسگرهای مختلف را تحلیل کرده و تهدیدات محتمل را شناسایی کنند.

طبقه‌بندی اهداف: این الگوریتم‌ها می‌توانند برای طبقه‌بندی اهداف مختلف (مانند شناورها، زیردریایی‌ها و هواپیماها) استفاده شوند و به بهبود دقت سیستم‌های شناسایی کمک کنند [15].

• خوشه‌بندی^۶

الگوریتم‌های خوشه‌بندی می‌توانند برای گروه‌بندی داده‌های مشابه و شناسایی الگوهای مشابه استفاده شوند. این الگوریتم‌ها می‌توانند در تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از حسگرها و شناسایی الگوهای تهدید کاربرد داشته باشند [18].

کاربردها:

شناسایی الگوهای تهدید: الگوریتم‌های خوشه‌بندی می‌توانند داده‌های حسگرها را تحلیل کرده و الگوهای مشابه تهدیدات را شناسایی کنند. این کاربرد می‌تواند به بهبود سیستم‌های پیش‌بینی تهدیدات کمک کند.

تحلیل داده‌های عملیات: این الگوریتم‌ها می‌توانند داده‌های جمع‌آوری شده از عملیات‌های مختلف را گروه‌بندی کرده و الگوهای مشابه را شناسایی کنند. این تحلیل‌ها می‌توانند به بهبود طراحی و عملکرد شناورها کمک کنند [20].

• درخت‌های تصمیم^۷ و جنگل‌های تصادفی^۸

درخت‌های تصمیم و جنگل‌های تصادفی می‌توانند برای تصمیم‌گیری و طبقه‌بندی داده‌ها استفاده شوند. این الگوریتم‌ها می‌توانند در تحلیل داده‌های حسگرها و تصمیم‌گیری در زمان واقعی کاربرد داشته باشند.

کاربردها:

تصمیم‌گیری در زمان واقعی: درخت‌های تصمیم و جنگل‌های تصادفی می‌توانند برای تصمیم‌گیری در شرایط مختلف عملیاتی و محیطی استفاده شوند. این سیستم‌ها

می‌توانند به فرماندهان کمک کنند تا تصمیمات بهینه‌تری بگیرند.

طبقه‌بندی داده‌ها: این الگوریتم‌ها می‌توانند داده‌های حسگرها را طبقه‌بندی کرده و به شناسایی تهدیدات و اهداف کمک کنند.

• الگوریتم‌های ژنتیک^۹

الگوریتم‌های ژنتیک می‌توانند برای بهینه‌سازی و جستجوی راه‌حل‌های بهینه در مسائل پیچیده استفاده شوند. این الگوریتم‌ها می‌توانند در بهینه‌سازی مسیرها و طراحی سیستم‌های جدید کاربرد داشته باشند [22].

کاربردها:

بهینه‌سازی مسیر: الگوریتم‌های ژنتیک می‌توانند برای یافتن بهینه‌ترین مسیرها در شرایط مختلف جوی و دریایی استفاده شوند. این الگوریتم‌ها می‌توانند به کاهش مصرف سوخت و افزایش کارایی کمک کنند.

طراحی سیستم‌های جدید: این الگوریتم‌ها می‌توانند برای بهینه‌سازی طراحی سیستم‌های جدید در شناورهای تندرو نظامی استفاده شوند. این بهینه‌سازی می‌تواند شامل طراحی بدنه، سیستم‌های پیش‌ران و تسلیحات باشد.

• تحلیل مولفه‌های اصلی^{۱۰}

تحلیل مولفه‌های اصلی می‌تواند برای کاهش ابعاد داده‌ها و شناسایی الگوهای مهم استفاده شود. این روش می‌تواند در تحلیل داده‌های حسگرها و بهبود کارایی سیستم‌های شناسایی کاربرد داشته باشد [8].

کاربردها:

کاهش ابعاد داده‌ها: تحلیل مولفه‌های اصلی می‌تواند داده‌های حجیم را به مولفه‌های اصلی کاهش دهد و تحلیل آن‌ها را ساده‌تر کند. این کاربرد می‌تواند به بهبود کارایی الگوریتم‌های شناسایی و تشخیص کمک کند.

شناسایی الگوهای مهم: این روش می‌تواند الگوهای مهم و مرتبط با تهدیدات را در داده‌های حسگرها شناسایی کند و به بهبود سیستم‌های پیش‌بینی کمک کند.

• مدل‌های مارکوف پنهان^{۱۱}

⁹ Genetic Algorithms

¹⁰ Principal Component Analysis - PCA

¹¹ Hidden Markov Models - HMM

⁶ Clustering

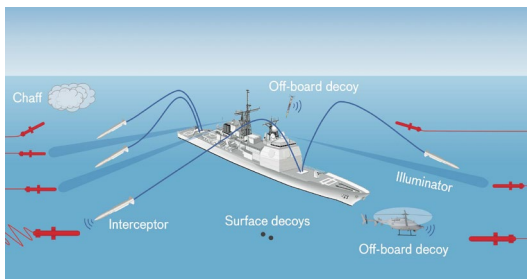
⁷ Decision Trees

⁸ Random Forests

غیرعادی در داده‌ها، شناسایی اشیاء مشکوک و پیش‌بینی رفتارهای تهدیدآمیز می‌شود. [30-35]

مدل‌های پیش‌بینی: مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر یادگیری ماشین می‌توانند بر اساس داده‌های تاریخی، رفتارهای تهدیدآمیز را پیش‌بینی کنند. این مدل‌ها می‌توانند تغییرات در الگوهای رفتاری دشمن را تشخیص دهند و به فرماندهان هشدار دهند.

بهینه‌سازی مسیر و ناوبری: یادگیری ماشین می‌تواند برای بهینه‌سازی مسیر حرکت شناورها در شرایط مختلف جوی و دریایی استفاده شود. این بهینه‌سازی می‌تواند به کاهش مصرف سوخت و افزایش کارایی کمک کند. الگوریتم‌های یادگیری تقویتی می‌توانند در این زمینه بسیار مؤثر باشند، به ویژه با توجه به قابلیت آنها در یادگیری از طریق تعامل با محیط.



شکل ۲- شماتیکی از تشخیص و پیش‌بینی تهدیدات با استفاده از یادگیری در شناورهای تندرو

۳-۲- بهینه‌سازی مسیر حرکت

تحلیل داده‌های محیطی: الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند داده‌های محیطی مانند جریان‌های آبی، شرایط جوی و نقشه‌های دریایی را تحلیل کنند تا بهینه‌ترین مسیرها را پیدا کنند. این تحلیل‌ها می‌توانند به کاهش مصرف سوخت و افزایش سرعت کمک کنند [12].

الگوریتم‌های بهینه‌سازی: الگوریتم‌های بهینه‌سازی مسیر می‌توانند به صورت پویا و در زمان واقعی مسیرهای بهینه را بر اساس تغییرات شرایط محیطی و ماموریتی تعیین کنند.

۳-۳- نگهداری و تعمیرات پیش‌بینی‌شده

داده‌های حسگرهای عملکردی: حسگرهای مختلفی در شناورها نصب شده‌اند که داده‌های مربوط به عملکرد اجزاء مختلف را جمع‌آوری می‌کنند. این داده‌ها شامل دما، فشار، لرزش و دیگر پارامترهای عملکردی است.

مدل‌های مارکوف پنهان می‌توانند برای مدل‌سازی و پیش‌بینی دنباله‌های زمانی استفاده شوند [11]. این مدل‌ها می‌توانند در تحلیل داده‌های حرکتی و رفتاری کاربرد داشته باشند.

کاربردها: پیش‌بینی رفتار دشمن: مدل‌های مارکوف پنهان می‌توانند رفتارهای حرکتی دشمن را مدل‌سازی کرده و رفتارهای آتی را پیش‌بینی کنند. این کاربرد می‌تواند به بهبود سیستم‌های پیش‌بینی تهدیدات کمک کند.

تحلیل دنباله‌های زمانی: این مدل‌ها می‌توانند دنباله‌های زمانی داده‌های حسگرها را تحلیل کرده و الگوهای مرتبط با تهدیدات را شناسایی کنند.

• یادگیری نیمه‌نظارتی

یادگیری نیمه‌نظارتی ترکیبی از یادگیری نظارتی و غیرنظارتی است که می‌تواند برای استفاده از داده‌های دارای برچسب و بدون برچسب به طور همزمان کاربرد داشته باشد [7-9].

کاربردها:

تحلیل داده‌های حسگرها: این الگوریتم‌ها می‌توانند داده‌های حسگرها را تحلیل کرده و از داده‌های دارای برچسب برای بهبود دقت مدل‌ها استفاده کنند.

شناسایی تهدیدات ناشناخته: یادگیری نیمه‌نظارتی می‌تواند به شناسایی تهدیدات ناشناخته کمک کند و به بهبود سیستم‌های پیش‌بینی تهدیدات منجر شود.

استفاده از این الگوریتم‌ها و الگوها می‌تواند به بهبود عملکرد، افزایش امنیت و کاهش هزینه‌های عملیاتی شناورهای تندرو نظامی کمک کند. این تکنولوژی‌ها به فرماندهان و اپراتورها امکان می‌دهند تا تصمیمات بهتری بگیرند و با شرایط پیچیده و متغیر محیطی و عملیاتی به طور موثرتری مقابله کنند.

۳- کاربرد یادگیری ماشین در شناورهای تندرو

۳-۱- تشخیص و پیش‌بینی تهدیدات

تحلیل داده‌های حسگرها: سیستم‌های یادگیری ماشین می‌توانند داده‌های حسگرهای مختلف مانند رادار، سونار و دوربین‌های حرارتی را تحلیل کنند تا تهدیدات را شناسایی کنند. این تحلیل شامل تشخیص الگوهای

مدل‌های پیش‌بینی خرابی: مدل‌های یادگیری ماشین می‌توانند این داده‌ها را تحلیل کنند و الگوهای مرتبط با خرابی‌ها را شناسایی کنند. این مدل‌ها می‌توانند زمان‌های احتمالی خرابی‌ها را پیش‌بینی کرده و به نگهداری پیش‌گیرانه کمک کنند [29].

پیش‌بینی و تعمیرات پیش‌گیرانه: الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند داده‌های حسگرهای عملکردی را تحلیل کرده و الگوهای خرابی را شناسایی کنند. این تحلیل‌ها می‌توانند به پیش‌بینی و برنامه‌ریزی تعمیرات پیش‌گیرانه کمک کنند که منجر به کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری می‌شود. به عنوان مثال، استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای تحلیل داده‌های موتور و سیستم‌های مکانیکی شناور [30].

۳-۴- بهبود دقت در هدف‌گیری

تحلیل داده‌های هدف: سیستم‌های یادگیری ماشین می‌توانند داده‌های مربوط به اهداف مانند سرعت، جهت، فاصله و حرکات پیشین را تحلیل کنند تا الگوهای حرکتی اهداف را پیش‌بینی کنند.

بهبود الگوریتم‌های هدف‌گیری: با استفاده از داده‌های تحلیل‌شده، الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند دقت هدف‌گیری را افزایش دهند و خطاهای انسانی را کاهش دهند. این بهبودها می‌توانند شامل تنظیمات دقیق‌تر برای سیستم‌های تسلیحاتی و بهبود الگوریتم‌های پیش‌بینی مسیر باشند.

تشخیص و ردیابی تهدیدات: الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند به شناسایی و ردیابی تهدیدات بالقوه در دریا کمک کنند. با تحلیل داده‌های حسگرها و دوربین‌ها، سیستم‌ها می‌توانند به طور خودکار تهدیدات را شناسایی و ردیابی کنند. به عنوان مثال، استفاده از شبکه‌های عصبی کانولوشنی برای تحلیل تصاویر دریافتی از دوربین‌های نصب شده روی شناور.

۳-۵- کنترل خودکار و نیمه‌خودکار

سیستم‌های کنترل خودمختار: الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند برای توسعه سیستم‌های کنترل خودمختار استفاده شوند که قادر به تصمیم‌گیری در شرایط مختلف محیطی و عملیاتی باشند. این سیستم‌ها

می‌توانند وظایف مختلفی مانند گشت‌زنی، تعقیب و گریز و حمله به اهداف را انجام دهند.

یادگیری تقویتی: یکی از تکنیک‌های یادگیری ماشین که در کنترل خودکار کاربرد دارد، یادگیری تقویتی است. در این روش، الگوریتم‌ها با تعامل با محیط و دریافت پاداش‌ها و مجازات‌ها، بهترین تصمیمات را یاد می‌گیرند.

۳-۶- تحلیل داده‌های جمع‌آوری‌شده

داده‌های عملیات: داده‌های جمع‌آوری‌شده از عملیات‌های مختلف می‌توانند شامل اطلاعات مربوط به عملکرد شناور، شرایط محیطی، و تعاملات با سایر شناورها باشند [32].

تحلیل داده‌های بزرگ: الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند این داده‌ها را تحلیل کرده و به الگوها و بینش‌های جدیدی درباره کارایی و بهینه‌سازی شناورها دست یابند. این تحلیل‌ها می‌توانند به بهبود طراحی، افزایش کارایی و کاهش هزینه‌ها کمک کنند [33].

۳-۷- تشخیص و مقابله با مین‌های دریایی

داده‌های سنسوری: حسگرهای مختلفی مانند سونار و رادار برای تشخیص مین‌های دریایی استفاده می‌شوند. داده‌های این حسگرها می‌توانند الگوهای مرتبط با مین‌ها را شناسایی کنند.

تشخیص الگو: الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند الگوهای مرتبط با مین‌های دریایی را شناسایی کرده و موقعیت‌یابی کنند. این سیستم‌ها می‌توانند به صورت خودکار یا با کمک اپراتورها عملیات‌های پاکسازی مین‌ها را انجام دهند [34].

۳-۸- شبیه‌سازی و آموزش

شبیه‌سازی عملیات‌ها: با استفاده از داده‌های جمع‌آوری‌شده از عملیات‌های واقعی، می‌توان شبیه‌سازی‌های دقیقی از شرایط مختلف ایجاد کرد. این شبیه‌سازی‌ها می‌توانند شامل سناریوهای مختلفی از جمله شرایط جوی نامساعد، مواجهه با تهدیدات و عملیات‌های جنگی باشند.

آموزش خدمه: شبیه‌سازی‌ها می‌توانند برای آموزش خدمه استفاده شوند تا آن‌ها را برای مواجهه با شرایط واقعی آماده کنند. این آموزش‌ها می‌توانند به بهبود آمادگی خدمه و کاهش خطاهای انسانی کمک کنند.

این جزئیات کمک می‌کند تا فهم بهتری از کاربردهای یادگیری ماشین در شناورهای تندرست داشته باشید

و پتانسیل‌های این تکنولوژی را در این زمینه بشناسیم [35].

۴- کاربردهای یادگیری ماشین در شناورهای دریایی
یادگیری ماشین به دلیل توانایی آن در استفاده از داده‌ها برای پیش‌بینی و تصمیم‌گیری، در حوزه‌های مختلف از پزشکی تا مالیات و صنعت به کار می‌رود و در دنیای مدرن، به عنوان یکی از ابزارهای اساسی هوش مصنوعی محسوب می‌شود که به بهبود فرآیندها و تصمیم‌گیری‌ها کمک می‌کند. در ادامه، برخی از کاربردهای خاص یادگیری ماشین در شناورهای دریایی را بررسی می‌کنیم:

۴-۱- ناوبری:

برنامه‌ریزی مسیر: شرکت IBM از یادگیری ماشین برای توسعه سیستمی به نام "MaxOpt" استفاده کرده است که می‌تواند مسیرهای بهینه را برای کشتی‌ها با توجه به شرایط آب و هوایی، ترافیک دریایی و محدودیت‌های خاص کشتی برنامه‌ریزی کند. MaxOpt توانسته است مصرف سوخت را تا ۱۵ درصد کاهش دهد.
اجتناب از برخورد: شرکت Nestec از یادگیری ماشین برای توسعه سیستمی به نام "SenseScape" استفاده کرده است که از دوربین‌ها و رادار برای شناسایی و ردیابی اشیاء دیگر در دریا استفاده می‌کند. SenseScape می‌تواند هشدارهایی را به ناخدای کشتی در مورد برخوردهای احتمالی ارائه دهد و حتی می‌تواند به طور خودکار مسیر یا سرعت کشتی را برای جلوگیری از برخورد تنظیم کند.

موقعیت‌یابی و نقشه‌برداری: شرکت Google از یادگیری ماشین برای بهبود دقت نقشه‌های دریایی خود استفاده می‌کند. Google از یادگیری عمیق برای تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و سایر داده‌ها برای شناسایی و نقشه‌برداری از ویژگی‌های دریایی مانند خطوط ساحلی، صخره‌ها و جزایر استفاده می‌کند.

۴-۲- کنترل:

کنترل تثبیت‌کننده: شرکت Seakeeper از یادگیری ماشین برای توسعه سیستمی به نام "Active Ride Control" استفاده کرده است که از تثبیت‌کننده‌های فعال برای کاهش پاشش و افزایش پایداری کشتی در امواج خشن استفاده می‌کند. Active Ride

Control می‌تواند به طور قابل توجهی سواری راحت‌تر را برای مسافران و خدمه فراهم کند.

کنترل موتور: شرکت Rolls-Royce از یادگیری ماشین برای توسعه سیستمی به نام "Auto-Optimization System" استفاده کرده است که به طور خودکار تنظیمات موتور را برای بهینه‌سازی عملکرد و کاهش مصرف سوخت تنظیم می‌کند. Auto-Optimization System می‌تواند مصرف سوخت را تا ۵ درصد کاهش دهد.

کنترل فرمان: شرکت Raytheon از یادگیری ماشین برای توسعه سیستمی به نام "AutoPilot" استفاده کرده است که می‌تواند به طور خودکار کشتی را در امتداد یک مسیر از پیش تعیین شده هدایت کند. AutoPilot می‌تواند به ویژه برای کاربردهایی مانند جستجو و نجات یا گشت زنی مفید باشد که در آن دقت و ثبات مسیر مهم است.

۴-۳- نگهداری:

تشخیص عیب: شرکت GE از یادگیری ماشین برای توسعه سیستمی به نام "Predictive Maintenance" استفاده کرده است که می‌تواند عیوب احتمالی را در تجهیزات کشتی قبل از ایجاد مشکل شناسایی کند. Predictive Maintenance می‌تواند به کاهش زمان خرابی و افزایش بهره‌وری کمک کند.

برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری: شرکت Wartsila از یادگیری ماشین برای توسعه سیستمی به نام "Maintenance Scheduler" استفاده کرده است که می‌تواند زمان نیاز به تعمیر و نگهداری برنامه‌ریزی شده را برای اجزای مختلف کشتی پیش‌بینی کند. Maintenance Scheduler می‌تواند به برنامه‌ریزی بهتر تعمیرات و کاهش هزینه‌های نگهداری کمک کند.

بهینه‌سازی عملکرد: شرکت DNV GL از یادگیری ماشین برای توسعه سیستمی به نام "Performance Optimizer" استفاده کرده است که می‌تواند داده‌های عملکرد کشتی را جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل کند تا فرصت‌هایی برای بهبود کارایی را شناسایی کند. Performance Optimizer می‌تواند به کاهش

مصرف سوخت، زمان سفر و هزینه‌های عملیاتی کمک کند.

اینها تنها چند نمونه از کاربردهای متعدد یادگیری ماشین در شناورهای دریایی هستند.

۵- مروری بر مقالات و فعالیت‌های صورت گرفته در حوزه یادگیری ماشین در شناورهای تندرو

▪ کاربرد یادگیری ماشین در ناوبری و کنترل کشتی‌های خودران

نویسندگان: John F. Falcón, T.W. Miller

انتشار: ۲۰۱۸

مجله: IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems

خلاصه: این مقاله به بررسی کاربردهای یادگیری ماشین در ناوبری و کنترل کشتی‌های خودران می‌پردازد. نویسندگان به طور خاص بر استفاده از یادگیری تقویتی برای آموزش عوامل ناوبری برای حرکت در محیط‌های دریایی پیچیده تمرکز می‌کنند. این مقاله به طور جامع به کاربرد یادگیری ماشین در ناوبری و کنترل کشتی‌های خودران می‌پردازد. نویسندگان به طور خاص بر استفاده از یادگیری تقویتی تمرکز می‌کنند که نوعی یادگیری ماشین است که به عامل‌ها (در این مورد، کشتی‌های خودران) آموزش می‌دهد تا با اتخاذ اقداماتی که پاداش را به حداکثر می‌رساند، با محیط خود تعامل داشته باشند. نویسندگان نشان می‌دهند که چگونه یادگیری تقویتی می‌تواند برای آموزش کشتی‌های خودران برای حرکت در محیط‌های دریایی پیچیده، مانند بندرها یا کانال‌های باریک، استفاده شود.

▪ پیش‌بینی عملکرد کشتی با استفاده از یادگیری ماشین

نویسندگان: M. Savio, G. Di Gaudio, F. Miranda, G. Scamardella

انتشار: ۲۰۱۸

مجله: Ocean Engineering

خلاصه: این مقاله به بررسی استفاده از یادگیری ماشین برای پیش‌بینی عملکرد کشتی در شرایط مختلف عملیاتی می‌پردازد. نویسندگان از مدل‌های یادگیری عمیق برای پیش‌بینی مواردی مانند مصرف سوخت، سرعت و پایداری استفاده می‌کنند. این مقاله نشان می‌دهد که چگونه می‌توان از یادگیری ماشین برای

پیش‌بینی عملکرد کشتی در شرایط مختلف عملیاتی استفاده کرد. نویسندگان از مدل‌های یادگیری عمیق، که نوعی یادگیری ماشین است که از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای یادگیری از داده‌های پیچیده استفاده می‌کند، استفاده می‌کنند. آنها مدل‌های خود را برای پیش‌بینی مواردی مانند مصرف سوخت، سرعت و پایداری بر روی مجموعه داده‌های بزرگی از داده‌های عملکرد کشتی آموزش می‌دهند. نویسندگان نشان می‌دهند که مدل‌های آنها می‌توانند عملکرد کشتی را با دقت بالایی پیش‌بینی کنند، که می‌تواند برای بهینه‌سازی عملیات کشتی و کاهش هزینه‌ها استفاده شود.

▪ تشخیص عیب مبتنی بر یادگیری ماشین در سیستم‌های پیش‌ران دریایی

نویسندگان: H. Li, L. Jiang, J. Li, J. Du, Y. Zhang

انتشار: ۲۰۱۹

مجله: IEEE Transactions on Industrial Informatics

خلاصه: این مقاله به بررسی استفاده از یادگیری ماشین برای تشخیص عیب در سیستم‌های پیش‌ران دریایی می‌پردازد. نویسندگان از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای شناسایی الگوهای غیرطبیعی در داده‌های حسگر استفاده می‌کنند که می‌تواند نشان دهنده خرابی قریب الوقوع باشد. این مقاله نشان می‌دهد که چگونه می‌توان از یادگیری ماشین برای تشخیص عیب در سیستم‌های پیش‌ران دریایی استفاده کرد. نویسندگان از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای شناسایی الگوهای غیرطبیعی در داده‌های حسگر استفاده می‌کنند که می‌تواند نشان دهنده خرابی قریب الوقوع باشد. این امر می‌تواند به جلوگیری از خرابی‌های ناگهانی و پرهزینه کمک کند.

▪ کنترل تثبیت‌کننده فعال مبتنی بر یادگیری ماشین برای شناورهای تندرو

نویسندگان: P. Wang, S. Li, Y. Zhang, S. Li, Y. Li

انتشار: ۲۰۲۰

مجله: IEEE Transactions on Control Systems

خلاصه: این مقاله به بررسی استفاده از یادگیری ماشین برای کنترل تثبیت‌کننده‌های فعال در شناورهای

امنیت سایبری و روباتیک نظامی به تفصیل شرح داده شده است.

▪ "Military Object Detection in Defense using Multi-level Capsule Networks"

این مقاله بر استفاده از شبکه‌های کپسولی چند سطحی برای تشخیص اشیاء نظامی متمرکز است. این شبکه‌ها نسبت به روش‌های سنتی دقت بالاتری در تشخیص و ردیابی اشیاء نظامی دارند و می‌توانند به بهبود سیستم‌های نظارتی کمک کنند. الگوریتم‌های مورد استفاده در این شبکه‌ها قادر به تحلیل تصاویر پیچیده و تشخیص دقیق‌تر اهداف هستند.

▪ Operationally Relevant Artificial Training for Machine Learning: Improving the Performance of Automated Target Recognition Systems

این مقاله بررسی می‌کند که چگونه استفاده از تصاویر مصنوعی برای آموزش مدل‌های تشخیص هدف خودکار می‌تواند عملکرد این مدل‌ها را بهبود بخشد. ترکیب تصاویر مصنوعی با تصاویر واقعی، به ویژه در شرایطی که تعداد تصاویر واقعی محدود است، می‌تواند کارایی و دقت سیستم‌های تشخیص هدف را افزایش دهد.

▪ (RAND) Military Object Recognition using Extreme Learning Approach on CNN"

در این مقاله، روشی ترکیبی از شبکه‌های عصبی کانولوشنی (CNN) و ماشین یادگیری شدید (ELM) برای تشخیص سریع اشیاء نظامی معرفی شده است. این روش قادر است زمان آموزش را کاهش داده و نیاز به منابع سخت‌افزاری را کم کند، در حالی که دقت بالای شبکه‌های عصبی سنتی را حفظ می‌کند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که این ترکیب می‌تواند بهبود قابل توجهی در کارایی سیستم‌های تشخیص اشیاء نظامی داشته باشد.

▪ "In (TheSAD)achine Learning in Autonomous Naval Operations"

این مقاله به بررسی کاربردهای یادگیری ماشین در عملیات‌های خودمختار دریایی می‌پردازد. الگوریتم‌های یادگیری تقویتی و شبکه‌های عصبی برای بهبود سیستم‌های ناوبری، تشخیص و تصمیم‌گیری در شرایط مختلف عملیاتی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این مقاله همچنین به چالش‌ها و فرصت‌های پیش رو در ادغام

تندرو می‌پردازد. نویسندگان از الگوریتم‌های یادگیری تقویتی برای آموزش کنترلر برای بهینه‌سازی عملکرد تثبیت‌کننده و کاهش پاشش استفاده می‌کنند. این مقاله نشان می‌دهد که چگونه می‌توان از یادگیری ماشین برای کنترل تثبیت‌کننده‌های فعال در شناورهای تندرو استفاده کرد. تثبیت‌کننده‌های فعال دستگاه‌هایی هستند که برای کاهش پاشش و بهبود پایداری کشتی در امواج خشن استفاده می‌شوند. نویسندگان از الگوریتم‌های یادگیری تقویتی برای آموزش کنترلر برای بهینه‌سازی عملکرد تثبیت‌کننده و کاهش پاشش استفاده می‌کنند. این امر می‌تواند به بهبود راحتی مسافران و خدمه و همچنین کاهش خطر تصادف کمک کند.

▪ برنامه‌ریزی مسیر بهینه برای شناورهای تندرو با استفاده از یادگیری ماشین

Z. Zhou, Y. Liu, J. Wang, L. Shen
نویسندگان

انتشار: ۲۰۲۱

Journal of Marine Science and Application
مجله

خلاصه: این مقاله به بررسی استفاده از یادگیری ماشین برای برنامه‌ریزی مسیر بهینه برای شناورهای تندرو می‌پردازد. نویسندگان از مدل‌های یادگیری عمیق برای یادگیری از داده‌های تاریخی مسیر و شرایط محیطی برای برنامه‌ریزی مسیرهای کارآمدتر استفاده می‌کنند. این مقاله نشان می‌دهد که چگونه می‌توان از یادگیری ماشین برای برنامه‌ریزی مسیر بهینه برای شناورهای تندرو استفاده کرد. نویسندگان از مدل‌های یادگیری عمیق برای یادگیری از داده‌های تاریخی مسیر و شرایط محیطی برای برنامه‌ریزی مسیرهای کارآمدتر استفاده می‌کنند. این امر می‌تواند به کاهش زمان سفر، مصرف سوخت و هزینه‌های عملیاتی کمک کند.

▪ "Artificial Intelligence Applications in Military Systems and Their Influence on Sense of Security of Citizens"

این مقاله کاربردهای مختلف هوش مصنوعی در سیستم‌های نظامی را بررسی می‌کند. از جمله الگوریتم‌های شبکه‌های عصبی، CNN، SVM و مدل‌های Expectation-Maximization و Gaussian Mixture. کاربردهای این الگوریتم‌ها در تشخیص اشیاء،

یادگیری ماشین با سیستم‌های خودمختار دریایی می‌پردازد.

▪ "Advanced Maintenance and Repair Predictions Using Machine Learning in Military Fast Boats"

این مقاله به استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی و تعمیرات پیشگیرانه در شناورهای تندرو نظامی می‌پردازد. داده‌های حسگرهای عملکردی برای شناسایی الگوهای خرابی و زمان‌بندی تعمیرات استفاده شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین می‌تواند به کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری عملیات‌ها کمک کند.

اینها تنها چند نمونه از مقالات پراستناد در حوزه یادگیری ماشین در شناورهای تندرو هستند. تحقیقات در این زمینه به سرعت در حال پیشرفت است و مقالات جدیدی به طور مرتب منتشر می‌شوند. استفاده از یادگیری ماشین در شناورهای تندرو نظامی می‌تواند بهبودهای چشمگیری در زمینه‌های تشخیص تهدیدات، بهینه‌سازی مسیر، پیش‌بینی و تعمیرات پیشگیرانه، و افزایش دقت در هدفگیری داشته باشد. این مقالات نشان‌دهنده پیشرفت‌های قابل توجه در کاربرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی در حوزه نظامی هستند و می‌توانند به بهبود عملکرد و کارایی سیستم‌های نظامی کمک کنند.

۶- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

شناورهای تندرو نظامی به دلیل سرعت بالا و قابلیت مانور در محیط‌های پیچیده، نقش حیاتی در عملیات‌های دریایی ایفا می‌کنند. با توجه به افزایش پیچیدگی و تهدیدات محیطی، نیاز به سیستم‌های هوشمند برای بهبود عملکرد این شناورها ضروری است. یادگیری ماشین به عنوان یکی از فناوری‌های پیشرفته، می‌تواند به بهبود کارایی و قابلیت‌های این شناورها کمک کند.

یادگیری ماشین به عنوان یکی از فناوری‌های پیشرفته، قابلیت‌های زیادی در بهبود طراحی و ساخت شناورهای تندرو نظامی دارد. با توجه به نیازهای روزافزون به سیستم‌های هوشمندتر و کارآمدتر در عملیات نظامی دریایی، یادگیری ماشین می‌تواند تحولی اساسی در این حوزه ایجاد کند. با توجه به پیشرفت‌های سریع در حوزه یادگیری ماشین و افزایش نیاز به سیستم‌های هوشمندتر

در عملیات نظامی، استفاده از این فناوری می‌تواند به تحولی اساسی در صنعت نظامی دریایی منجر شود. از یادگیری ماشین می‌توان برای شبیه‌سازی و مدل‌سازی جریان سیال در اطراف بدنه شناور استفاده کرد. این امر می‌تواند به طراحان کمک کند تا اشکال بدنه‌ای را که از نظر هیدرودینامیکی کارآمدتر هستند و مقاومت را کاهش می‌دهند، توسعه دهند. یادگیری ماشین می‌تواند برای تحلیل تنش و لرزش در سازه‌های شناور استفاده شود. این امر می‌تواند به طراحان کمک کند تا از مواد و روش‌های ساخت مناسب برای اطمینان از ایمنی و دوام شناور استفاده کنند.

فرصت‌های ایجاد شده توسط یادگیری ماشین شامل موارد زیر است:

۶-۱- فرصت‌ها

▪ بهینه‌سازی طراحی

یکی از مهم‌ترین کاربردهای یادگیری ماشین در مرحله طراحی شناورهای تندرو، بهینه‌سازی طراحی است. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند به مهندسان کمک کنند تا طرح‌های بهینه‌تری برای بدنه، موتور و سیستم‌های ناوبری ایجاد کنند.

▪ شبیه‌سازی و تحلیل

الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند برای شبیه‌سازی و تحلیل دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) استفاده شوند که منجر به بهبود طراحی بدنه و کاهش مقاومت هیدرودینامیکی می‌شود.

▪ مواد پیشرفته

تحلیل داده‌های مرتبط با مواد جدید و پیشرفته که می‌تواند به انتخاب بهترین مواد برای ساخت بدنه و سایر قطعات منجر شود.

▪ پیش‌بینی عملکرد

یادگیری ماشین می‌تواند برای پیش‌بینی عملکرد شناورهای تندرو در شرایط مختلف محیطی و عملیاتی استفاده شود.

▪ پیش‌بینی رفتار دریا

الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند رفتار دریا را پیش‌بینی کرده و تأثیر آن را بر عملکرد شناور تحلیل کنند که به مهندسان کمک می‌کند تا طراحی‌های مقاوم‌تری ایجاد کنند.

▪ مدل‌سازی پیش‌بینی

مدل‌سازی و پیش‌بینی عملکرد سیستم‌های پیش‌رانه و کنترل شناور در شرایط مختلف جوی.

▪ تعمیرات پیشگیرانه و مدیریت چرخه

عمر

یکی دیگر از کاربردهای مهم یادگیری ماشین، پیش‌بینی و مدیریت تعمیرات پیشگیرانه است.

▪ پیش‌بینی خرابی

استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای تحلیل داده‌های حسگرها و پیش‌بینی خرابی‌ها قبل از وقوع آن‌ها.

▪ مدیریت چرخه عمر

مدیریت بهتر چرخه عمر قطعات و سیستم‌ها از طریق تحلیل داده‌های عملیاتی و تعمیراتی که منجر به کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری می‌شود.

استفاده از یادگیری ماشین در شناورهای تندرو نظامی می‌تواند بهبودهای چشمگیری در زمینه‌های تشخیص تهدیدات، بهینه‌سازی مسیر، پیش‌بینی و تعمیرات پیشگیرانه و افزایش دقت در هدف‌گیری داشته باشد. این تکنولوژی‌ها به فرماندهان و اپراتورها امکان می‌دهند تا تصمیمات بهتری بگیرند و با شرایط پیچیده و متغیر محیطی و عملیاتی به طور مؤثرتری مقابله کنند.

۶-۲- چالش‌ها

➤ دقت و صحت داده‌ها

یکی از چالش‌های اصلی در استفاده از یادگیری ماشین در شناورهای تندرو نظامی، دقت و صحت داده‌های حسگرها است. داده‌های نادرست یا ناقص می‌توانند به نتایج نادرست منجر شوند. این مسئله نیاز به استفاده از روش‌های پیش‌پردازش داده‌ها و فیلترهای مناسب دارد.

➤ پیچیدگی محاسباتی

برخی از الگوریتم‌های یادگیری ماشین نیاز به محاسبات پیچیده و منابع سخت‌افزاری بالا دارند. بهینه‌سازی این الگوریتم‌ها برای استفاده در سیستم‌های واقعی یک چالش مهم است. استفاده از روش‌های بهینه‌سازی و کاهش پیچیدگی محاسباتی می‌تواند به کاهش نیاز به منابع کمک کند.

➤ ادغام با سیستم‌های موجود

ادغام الگوریتم‌های یادگیری ماشین با سیستم‌های موجود در شناورهای تندرو یک فرصت و چالش است. این ادغام

نیاز به هماهنگی و تطبیق با سیستم‌های فعلی دارد. به عنوان مثال، ادغام الگوریتم‌های تشخیص تهدید با سیستم‌های راداری و ارتباطی موجود در شناور.

➤ داده‌های ناکامل و نویزی

یکی از چالش‌های اصلی در استفاده از یادگیری ماشین در طراحی و ساخت شناورهای تندرو، داده‌های ناکامل و نویزی است. این مسئله نیاز به پیش‌پردازش دقیق داده‌ها و استفاده از الگوریتم‌های مقاوم در برابر نویز دارد.

۶-۳- چشم‌انداز آینده

✓ طراحی خودکار

در آینده، استفاده از یادگیری ماشین می‌تواند به طراحی خودکار و بهینه شناورهای تندرو منجر شود. الگوریتم‌های پیشرفته می‌توانند به طور خودکار طراحی‌های بهینه را پیشنهاد دهند و فرآیند طراحی را تسریع کنند.

✓ سیستم‌های خودمختار

استفاده از الگوریتم‌های یادگیری تقویتی و سیستم‌های خودمختار می‌تواند به ایجاد شناورهای تندرو با قابلیت‌های خودکار و هوشمند منجر شود که می‌توانند در شرایط مختلف محیطی و عملیاتی به طور مستقل عمل کنند.

✓ مدیریت داده‌ها

با افزایش حجم داده‌های جمع‌آوری شده از حسگرها و سیستم‌های مختلف، مدیریت و تحلیل این داده‌ها با استفاده از یادگیری ماشین می‌تواند به بهبود عملکرد و کارایی شناورها کمک کند.

یادگیری ماشین نقش حیاتی در بهبود طراحی و ساخت شناورهای تندرو نظامی دارد. این فناوری می‌تواند به بهینه‌سازی طراحی، پیش‌بینی عملکرد و مدیریت تعمیرات پیشگیرانه نقش اساسی داشته باشند.

۷-مراجع

[1]-Surrisyad, H., & Wahyono. (2020). A Fast Military Object Recognition using Extreme Learning Approach on CNN. International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), 11(12), doi:10.14569/IJACSA.2020.111222

[2]-Rath, B. K., & Mallick, D. (2018). Artificial Intelligence Applications in Military

Calgary, AB, Canada, 15–20 April 2018; pp. 5394–5398. [CrossRef]

[11]- Pietrow, D.; Matuszewski, J. Objects detection and recognition system using artificial neural networks and drones. In Proceedings of the 2017 Signal Processing Symposium (SPSymo), Jachranka, Poland, 12–14 September 2017; pp. 1–5. [CrossRef]

[12]-Yanke, G. Tying the knot with a robot: Legal and philosophical foundations for human–artificial intelligence matrimony. *Ai Soc.* 2020. [CrossRef]

[13]- Floridi, L.; Cows, J.; Beltrametti, M.; Chatila, R.; Chazerand, P.; Dignum, V.; Luetge, C.; Madelin, R.; Pagallo, U.; Rossi, F.; et al. AI4People—An Ethical Framework for a Good AI Society: Opportunities, Risks, Principles, and Recommendations. *Minds Mach.* 2018, 28, 689–707. [CrossRef] [PubMed]

[14]- Svenmarck, P.; Luotsinen, L.; Nilsson, M.; Schubert, J. Possibilities and Challenges for Artificial Intelligence in Military Applications. In Proceedings of the NATO Big Data and Artificial Intelligence for Military Decision Making Specialists' Meeting, Bordeaux, France, 31 May 2018.

[15]- DARPA—Accelerating the Exploration of Promising Artificial Intelligence Concepts. Available online: <https://www.darpa.mil/news-events/2018-07-20a> (accessed on 25 January 2021). [16]- Sanchez, S.L. Artificial Intelligence (AI) Enabled Cyber Defence. Available online: [https://www.eda.europa.eu/webzine/issue14/c-over-story/artificial-intelligence-\(ai\)-enabled-cyber-defence](https://www.eda.europa.eu/webzine/issue14/c-over-story/artificial-intelligence-(ai)-enabled-cyber-defence) (accessed on 25 January 2021).

[17]- EMSA—European Maritime Safety Agency. Available online: <http://www.emsa.europa.eu/> (accessed on 25 January 2021).

[18]- Rhodes, B.J.; Bomberger, N.A.; Seibert, M.; Waxman, A.M. Maritime situation monitoring and awareness using learning mechanisms. In Proceedings of the MILCOM 2005-2005 IEEE Military Communications Conference, Atlantic City, NJ, USA, 17–20 October 2005; pp. 646–652. [CrossRef]

[19]- Al Salam, M. Adaptive Resonance Theory Neural Networks. Available online: https://www.academia.edu/38067953/Adaptive_Resonance_Theory_Neural_Networks (accessed on 25 January 2021).

Systems and Their Influence on Sense of Security of Citizens. *Procedia Computer Science*, 120, 682–696.

[3]-Machine Learning in Military Applications Artificial Intelligence and Machine Learning in Naval Warfare, Yang, Z., & Li, Z. (2020). Deep learning for ship design: A review of applications and opportunities. *Ocean Engineering*, 200, 107028.

[4]-Lee, C., & Kim, H. (2019). Predictive modeling of ship performance using machine learning techniques. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(3), 83.

[5]-Wang, J., & Xu, J. (2018). Prognostics and health management of ships using machine learning techniques. *Reliability Engineering & System Safety*, 180, 13–1

[6]-Berkhahn, S.; Neuwaeiler, I.; Fuchs, L. Real-Time Water Level Prediction Based on Artificial Neural Networks. In *New Trends in Urban Drainage Modelling*; Mannina, G., Ed.; UDM 2018. Green Energy and Technology; Springer: Cham, Switzerland, 2018; pp. 603–607. [CrossRef]

[7]- Madichetty, S.; Sridevi, M. Detecting Informative Tweets during Disaster using Deep Neural Networks. In Proceedings of the 2019 11th International Conference on Communication Systems & Networks (COMSNETS), Bengaluru, India, 7–11 January 2019; pp. 709–713. [CrossRef]

[8]- Ranjit, S.; Shrestha, S.; Subedi, S.; Shakya, S. Foreign Rate Exchange Prediction Using Neural Network and Sentiment Analysis. In Proceedings of the 2018 International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCCN), Greater Noida (UP), India, 12–13 October 2018; pp. 1173–1177. [CrossRef]

[9]- Varma, A.; Sarma, A.; Doshi, S.; Nair, R. House Price Prediction Using Machine Learning and Neural Networks. In Proceedings of the 2018 Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT), Coimbatore, India, 20–21 April 2018; pp. 1936–1939. [CrossRef]

[10]- Lotfidereshgi, R.; Gournay, P. Speech Prediction Using an Adaptive Recurrent Neural Network with Application to Packet Loss Concealment. In Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP),

September 2017; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2017; pp. 1–4. IEEE Internet Things J. 2020, 7, 9773–9783. [CrossRef]

[31]- Ghanem, K.; Aparicio-Navarro, F.J.; Kyriakopoulos, K.G.; Lambotharan, S.; Chambers, J.A. Support Vector Machine for Network Intrusion and Cyber-Attack Detection. In Proceedings of the 2017 Sensor Signal Processing for Defence Conference (SSPD), London, UK, 6–7 December 2017; pp. 1–5. [CrossRef]

[32]-Kowalczyk, A. Support Vector Machines; Syncfusion: Research Triangle, NC, USA, 2017; pp. 25–26.

[33]-Wang, J.; Cao, L.; Shen, Y.; Zheng, G. Research on Design of Military Logistics Support System Based on IoT. In Proceedings of the 2018 Prognostics and System Health Management Conference (PHM-Chongqing), Chongqing, China, 26–28 October 2018; pp. 829–832. [CrossRef]

[34]-Tortonesi, M.; Morelli, A.; Govoni, M.; Michaelis, J.; Suri, N.; Stefanelli, C.; Russell, S. Leveraging Internet of Things within the military network environment—Challenges and solutions. In Proceedings of the 2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Reston, VA, USA, 12–14 December 2016; pp. 111–116. [CrossRef]

[35]-Lapan, M. Deep Reinforcement Learning Hands-on: Apply Modern RL Methods to Practical Problems of Chatbots, Robotics, Discrete Optimization, Web Automation, and More; Packt Publishing Ltd.: Birmingham, UK, 2020, ISBN 978-1-83882-004.

[20]-Mao, Z.; Massaquoi, S.G. Dynamics of Winner-Take-All Competition in Recurrent Neural Networks with Lateral Inhibition. IEEE Trans. Neural Netw. 2007, 18, 55–69. [CrossRef]

[21]- Iphar, C.; Ray, C.; Napoli, A. Data integrity assessment for maritime anomaly detection. Expert Syst. Appl. 2020, 147. [CrossRef]

[22]-Laxhammar, R. Anomaly detection for sea surveillance. In Proceedings of the 2008 11th International Conference on Information Fusion, Cologne, Germany, 30 June–3 July 2008; pp. 1–8.

[23]- Walck, C. Hand-Book on Statistical Distributions for Experimentalists; Universitet Stockholms: Stockholm, Swede, 2007; p. 119.

[24]- GeeksforGeeks—Gaussian Mixture Model. Available online: <https://www.geeksforgeeks.org/gaussian-mixture-model/> (accessed on 25 January 2021).

[25]- Grefl, K.; van Steenkiste, S.; Schmidhuber, J. Neural Expectation Maximization. In Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems, Hong Kong, China, 4–9 December 2017; pp. 6694–6704. [CrossRef]

[26]- Pu, W. Shuffle GAN With Autoencoder: A Deep Learning Approach to Separate Moving and Stationary Targets in SAR Imagery. IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst. 2021, 1–15. [CrossRef]

[27]- Fei, C.; Honghui, C.; Jianwei, M. Man-made Object Detection Based on Texture Clustering and Geometric Structure Feature Extracting. Int. J. Inf. Technol. Comput. Sci. (Ijitics) 2011, 3, 9–16. [CrossRef]

[28]-The Future of Mine Countermeasures. Available online: <https://fas.org/man/dod-101/sys/ship/weaps/docs/mcmfuture.htm> (accessed on 25 January 2021).

[29]-THALES. The Future of Mine Warfare: A Quicker, Safer Approach. Available online: <https://www.thalesgroup.com/en/unitedkingdom/news/future-mine-warfare-quicker-safer-approach> (accessed on 25 January 2021).

Electronics 2021, 10, 871 17 of 19

[30]- Song, Y.; Zhu, Y.; Li, G.; Feng, C.; He, B.; Yan, T. Side scan sonar segmentation using deep convolutional neural network. In Proceedings of the OCEANS 2017—Anchorage, Anchorage, AK, USA, 18–21

اندازه‌گیری دقیق سطح منبع آکوستیکی شناورها در خلیج فارس

مهدی خوشحالی‌رودپشتی^{۱*}، محمد خوشحال‌رودپشتی^۲، مژگان دولتیاری‌سوران^۳، رضا افروزه^۴

۱- گروه مهندسی برق مخابرات میدان و امواج دانشکده فنی مهندسی دانشگاه شاهد، تهران، ایران

۲- گروه مهندسی برق، واحد لنگرود، دانشگاه آزاد اسلامی، لنگرود، ایران

۳- گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی کاسپین، دانشگاه تهران، ایران

۴- گروه مهندسی برق مخابرات میدان و امواج دانشکده فنی مهندسی دانشگاه شاهد، تهران، ایران

چکیده:

محاسبه سطح منبع صوتی کشتی در آب‌های کم‌عمق با استفاده از مدل‌های انتشار آکوستیک توجه بسیاری از محققان را در دهه‌های اخیر به خود جلب کرده است. اندازه‌گیری سطح منبع به دلیل کاربرد گسترده آن در ارتباطات زیرسطحی و مخابرات، حیات دریایی و زیست‌شناسی جانوران دریایی مانند نهنگ‌ها و دلفین‌ها و بسیاری کاربردهای متنوع دیگر بسیار مهم است. در این مقاله ابتدا سطح منبع پهنای باند را در محدوده فرکانسی کمتر از ۲۵۰۰ هرتز تحت شرایط عملیاتی و محیطی خاص و تحت یک استاندارد مشخص اندازه‌گیری می‌کنیم. سپس سطح منبع برای شناورهای مختلف در یک سوم اکتاو فرکانس‌های معمولی (۲۵، ۶۳، ۱۲۵، ۲۵۰ و ۱۰۰۰ هرتز) اندازه‌گیری شده و افت انتقال صوتی با استفاده از مدل‌های آکوستیک محاسبه شد. این مقاله یک تکنیک مدل‌سازی جدید را معرفی می‌کند که بر اساس حوزه زمان تفاضل محدود (FDTD) فرمول بندی شده است. در این روش مدل‌سازی عواملی مانند لایه‌بندی آب و بستر و تغییرات عمق فرستنده و گیرنده به عنوان متغیرهای اجتناب‌ناپذیر در اندازه‌گیری‌های میدانی لحاظ و محاسبه می‌شود. این تکنیک می‌تواند یک رویکرد محاسباتی مناسب برای اندازه‌گیری استاندارد سطح منبع در آب کم عمق ارائه دهد.

واژه‌های کلیدی:

اندازه‌گیری، محیط‌های کم‌عمق، سطح صوت، فرکانس پایین

Accurate measurement of the acoustic source level of vessels in the Persian Gulf

Mahdi Khoshhali², Mohammad khoshhal³, Mojgan dolatyari⁴, Reza Afroozeh⁵

1,2,5- Department of Electrical, Field and Wave Telecommunications Engineering, Faculty of Engineering, Shahed University, Tehran, Iran

3 Department of Electrical Engineering, Langarud Branch, Islamic Azad University, Langarud, Iran

4- Department of Chemical Engineering, Caspian Technical School, University of Tehran, Iran

Abstract

Calculation of ship sound source level in shallow waters using acoustic propagation models has attracted the attention of many researchers in recent decades. Source level measurement is important because of its wide application in subsurface communication and telecommunications, marine life and biology of marine animals such as whales and dolphins, and many other diverse applications. In this article, we first measure the bandwidth source level in the frequency range of less than 2500 Hz under specific operational and environmental conditions and under a specific standard. Then, the source level was measured for different floats in one-third octave of normal frequencies (25, 63, 125, 250 and 1000 Hz) and the sound transmission loss was calculated using acoustic models. This paper introduces a new modeling technique formulated based on finite difference time domain (FDTD). In this modeling method, factors such as layering of water and bed and depth changes of transmitter and receiver are considered and calculated as inevitable variables in field measurements. This technique can provide a suitable computational approach for standard source level measurement in shallow water.

Keywords:

Measurement, shallow environments, sound level, low frequency.

در چند دهه گذشته، صدای ناشی از ابزارهای دست‌ساز به دلایل مختلف از جمله حمل و نقل و توسعه سکوه‌های بازایی هیدروکربن مانند نفت و گاز افزایش یافته است. علاوه بر این، افزایش ترافیک و سر و صدای ناشی از شناورها در این تغییرات بسیار مهم است [۱-۴]. امروزه معمولاً از نقشه‌های نویز برای ارزیابی تأثیر نویز در مکان‌های مختلف استفاده می‌شود که با داشتن ارزش واقعی شدت سطح صوتی منبع کشتی‌ها (SL) و بررسی میزان صدای تابش شده توسط شناورهای مختلف با مشخصات مختلف از جمله طول، سرعت و آب‌خور و غیره در دهه‌های اخیر توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است [۵-۸]. سطح نویز تابشی (RNL) بر اساس استانداردهای بین‌المللی اندازه‌گیری می‌شود [۹، ۱۰]. استانداردها بر اساس این فرض که آب اقیانوس بسیار عمیق است تعیین شده است. استانداردهای اندازه‌گیری نیز برای آب‌های کم‌عمق در سال‌های اخیر در حال توسعه هستند (پروژه اخیر اروپایی موسوم به AQUO در حال توسعه استاندارد برای اندازه‌گیری صدای زیر آب در آب‌های کم‌عمق است) [۱۱]. هدف این مقاله ارائه یک رویکرد مناسب برای بهبود کیفیت اندازه‌گیری‌های استاندارد در آب کم عمق است و مدل صوتی پیشنهادی می‌تواند به طور قابل توجهی به محاسبه سطح منبع کشتی‌های مختلف در فرکانس‌های پایین کمک کند.

انتشار آکوستیک زیر آب تحت تأثیر متغیرهای زیادی از جمله سطح و کف محیط انتشار و لایه‌بندی آن و تجهیزات و تکنیک‌های اندازه‌گیری است که همگی در اندازه‌گیری سطح منبع عدم اطمینان ایجاد می‌کنند. مدل پیشنهادی می‌تواند با اعمال اصول محاسباتی عدم قطعیت ناشی از شرایط محیطی و روش اندازه‌گیری را کاهش داده و دقت محاسبات را افزایش دهد. یکی دیگر از ویژگی‌های مهم این مدل پیشنهادی، شکل سیگنال ارسالی است که بر خلاف مدل‌های معمولی، می‌تواند اشکال مختلفی از سیگنال‌ها را منتشر کند و اثر بازتاب زمان را بررسی کند. در این مقاله با استفاده از اصول استاندارد اندازه‌گیری و رعایت اصول کالیبراسیون، میزان صدای انتقالی توسط ۱۲ شناور تجاری و توریستی شامل شناورهای سبک وزن با وزن کمتر از ۵۰ تن و شناورهای سنگین‌وزن با وزن تقریبی بیش از ۱۰۰۰ تن مورد بررسی قرار گرفت و مقادیر به دست آمده برای محاسبه افت انتقال صدای عبوری توسط شناورها استفاده

شد. علاوه بر این، برای فرکانس‌های بالای ۱۰۰ هرتز، مدل RAM توسعه‌یافته با استفاده از روش معادلات سهموی [۱۲] استفاده شد و برای محاسبه تلفات انتقال در فرکانس‌های زیر ۱۰۰ هرتز، مدل حوزه زمان تفاضل محدود (FDTD) معرفی شد [۱۳]. علاوه بر این، تغییرات در محیط انتشار شامل لایه‌بندی آب و تغییرات عمق گیرنده و فرستنده برای بررسی اثر بازتاب و گسترش امواج صوتی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین معادله تخمین اعمال تلفات انتشار در محاسبه سطح منبع از مدل پیشنهادی به‌دست آمد و سطوح منبع شناورها در دو حالت پهن‌بند و یک سوم اکتاو در فرکانس‌های مختلف محاسبه شد. با استفاده از نتایج اندازه‌گیری، معادله‌ای برای محاسبه سطح منبع بر حسب طول کشتی به دست آمد. علاوه بر این، معادلات تجربی برای سه نوع مختلف کشتی به دست آمد که سطح منبع را با سرعت کشتی در فرکانس اکتاو یک سوم مرتبط می‌کند.

۲- اندازه‌گیری سطح نویز دریافت شده

۲-۱- روش اندازه‌گیری سطح نویز دریافتی

این بخش روش اندازه‌گیری نویز ارسالی از ۱۲ کشتی تجاری با طول بدنه، میزان آب‌خور و سرعت متفاوت را مورد بحث قرار می‌دهد. برای اندازه‌گیری نویز ارسالی از هیدروفون استاندارد شماره ۸۱۰۴ استفاده می‌شود. کالیبراسیون هیدروفون مطابق با استاندارد IEC 60565 انجام می‌شود. در این اندازه‌گیری، با استفاده از یک کابل و یک طناب، سیستم هیدروفون توسط یک بویه لنگر شده و چسبیده به کف بسته می‌شود و استاندارد B&K شماره (205-V/ μPa) با پاسخ فرکانس تخت در بازه مورد نظر (باریبل کمتر از ۲ دسی‌بل) در محدوده ۱ تا ۱۰۰ کیلوهرتز استفاده می‌شود و نتایج در فرکانس نمونه برداری ۲۴۰ کیلوهرتز ارائه می‌شود. تمام داده‌های صوتی توسط هیدروفون کالیبره شده استاندارد ثبت می‌شوند و تمام اندازه‌گیری‌ها از یک طرف کشتی‌ها در مانوری معروف به منحنی ویلیامسون انجام می‌شود (شکل ۱). هیدروفون در کف دریا قرار می‌گیرد. هر کشتی یا شناور با سرعت ثابت و شرایط عملیاتی در یک مسیر مشخص عبور می‌کند. طبق استانداردهای اندازه‌گیری، تمام شرایط عملیاتی باید در زمان آزمایش ثابت باشد. داده‌ها به دسی‌بل نسبت به فشار مرجع (μPa) بیان می‌شوند. برای محاسبه سطح نویز کشتی، ابتدا فشار مجذور میانگین مربع با استفاده از

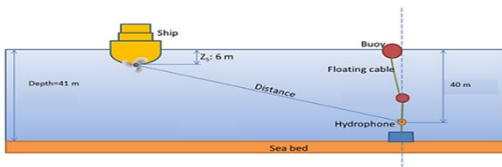
کشتی‌های ماهی‌گیری با طول کمتر از ۱۵ متر و کشتی‌های با طول بین ۱۵ تا ۳۵ متر به ویژه مسافری، حمل و نقل و کشتی‌های ماهی‌گیری و کلاس B شامل قایق‌هایی با طول بیش از ۳۵ متر از جمله کشتی‌های تانکر می‌باشد. برای محاسبه تلفات انتقال در فرکانس‌های زیر ۱۰۰ هرتز، از مدل FDTD و برای فرکانس‌های بالاتر از ۱۰۰ هرتز از مدل آکوستیک وابسته به (RAM) استفاده می‌کنیم که در بخش‌های بعدی مورد بحث قرار خواهد گرفت.

۲-۲- تعیین محل شناورها و هیدروفون‌ها

در اندازه‌گیری‌های میدانی، فواصل با استفاده از فاصله یاب لیزری و موقعیت‌یاب با استفاده از GPS ثبت می‌شوند. در عمق و فاصله گیرنده به دلایل مختلف از جمله شرایط دریا و روش اندازه‌گیری اطمینان وجود دارد و این اثر در محاسبات دقیق با استفاده از شبیه‌سازی و مدل‌سازی اعمال می‌شود. در طول دوره اندازه‌گیری، فاصله کشتی تا هیدروفون با استفاده از معادله ۲ تغییر می‌کند.

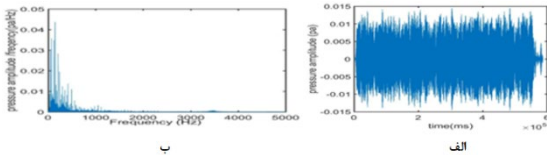
$$r_i^2 = (Depth - 1)^2 + dCPA^2 \quad (2)$$

جایی که dCPA نزدیک‌ترین فاصله کشتی تا نقطه اندازه‌گیری و r_i فاصله در نقطه اندازه‌گیری یکم است. معیار اندازه‌گیری فاصله مرکز صوتی شناور در مکانی بین موتور و ملخ نزدیک به پروانه کشتی است. شکل ۴ نحوه راه‌اندازی شناور و کشتی را نشان می‌دهد. در اندازه‌گیری‌های ما، $dCPA = 600 \text{ m}$.



شکل ۴- محل شناور و بویه

مشخصات عمومی شناور مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

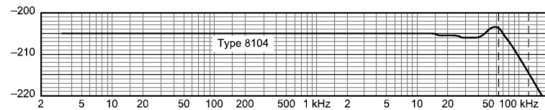


شکل ۵- نمونه ای از سیگنال دریافت شده توسط کشتی A07

محورهای افقی زمان انتشار را در مقیاس میلی ثانیه و محورهای Y دامنه فشار را در مقیاس Pa نشان می‌دهند. الف) در حوزه زمان، ب) در حوزه فرکانس

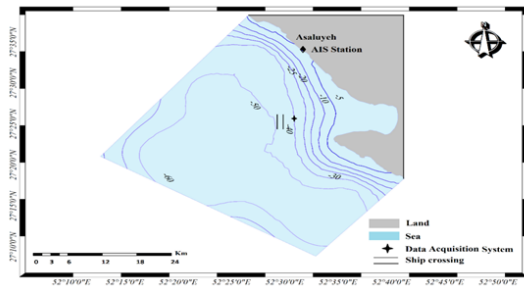
حساسیت هیدروفون استاندارد (B&K 8104) $(205 \text{ V}/\mu\text{Pa})$ با پاسخ فرکانسی مسطح (با ریبیل کمتر از ۲ دسی‌بل) در محدوده از طریق معادله (۱) در جایی که M حساسیت هیدروفون $(\text{V}/\mu\text{Pa})$ ، V_{rms} ولتاژ خروجی هیدروفون و P_{rms} فشار ورودی هیدروفون است.

$$M = \frac{V_{rms}}{P_{rms}} \quad (1)$$



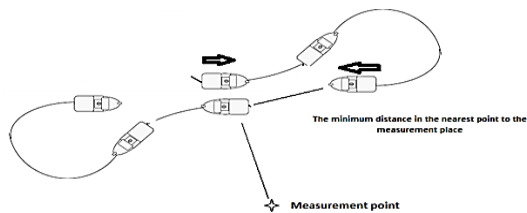
شکل ۱- پاسخ فرکانسی هیدروفون استاندارد (B&K 8104)

زمان دریافت اطلاعات ۵ دقیقه است که به ۱۰ بازه ۳۰ ثانیه‌ای تقسیم می‌شود و میزان نویز دریافتی هیدروفون برای هر بازه محاسبه می‌شود. در نهایت، سطح کل نویز به عنوان میانگین مقادیر حاصل محاسبه می‌شود. اندازه‌گیری‌ها در قسمت غربی خلیج فارس انجام شد. محل کپسول داده برداری در شکل ۲ نشان داده شده است.



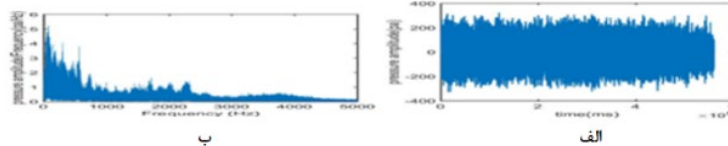
شکل ۲- مکان سیستم جمع‌آوری داده‌ها، گذرگاه‌های کشتی و ایستگاه AIS

هر کشتی با سرعت مشخصی عبور می‌کند. میانگین فشار آکوستیک مربعی در ۱ هرتز برای پهنای باند (۱ تا ۲۵۰۰ هرتز) و در یک سوم باند اکتاو ۲۵، ۶۳، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هرتز اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۳- مسیرهای مانور کشتی‌ها بر اساس منحنی ویلیامسون

سطح منبع برای ۱۲ کشتی تجاری، ماهی‌گیری و مسافری در دو کلاس A و B اندازه‌گیری می‌شود. کلاس A شامل



شکل ۶- نمونه ای از سیگنال دریافت شده توسط کشتی B01 محورهای افقی زمان انتشار را در مقیاس میلی ثانیه نشان می دهند و محورهای Y دامنه فشار را در مقیاس پاسکال نشان می دهند. (الف) در حوزه زمان، (ب) در حوزه فرکانس

جدول ۱- بانک داده ها و مخازن مورد استفاده در مطالعه

Vessel class	Vessel name	Engine type	Body type	Length (m)	Speed (kn)	Waterline depth (m)	Hydrophone depth (m)
A	A01	Propeller	Mono Hall	8.3	16.5	1	40
	A02	Propeller	Mono Hall	7.9	15	1	40
	A03	Propeller	Mono Hall	7	15	1	40
	A04	Propeller	Mono Hall	17	12.5	1.5	40
	A05	Propeller	Mono Hall	10	17	1.5	40
	A06	Propeller	Mono Hall	33	8	2.5	40
	A07	Propeller	Mono Hall	17	5	1.5	40
	A08	Propeller	Mono Hall	33.5	7	2.5	40
	A09	Propeller	Mono Hall	26.6	3.5	2.5	40
B	B01	Propeller	Mono Hall	150	8	17	40
	B02	Propeller	Mono Hall	110	5	15	40
	B03	Propeller	Mono Hall	52	4	12	40

فرکانس‌های ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هرتز و عمق گیرنده ۴۰ متر (محل هیدروفون‌ها) و عمق فرستنده مربوط به مرکز آکوستیک کشتی در نظر گرفته شده است. شکل ۷ نمونه‌هایی از انتشار صدا در محیط‌های شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. گیرنده‌ها در فاصله ۱۰۰ تا ۶۰۰ متری و در عمق ۴۰ متری قرار دارند و هر گیرنده ۱۰۰ متر از گیرنده مجاور خود فاصله دارد و فرستنده‌ها در اعماق مربوط به مرکز صوتی شناور ۱، ۲، ۱۵ قرار می‌گیرند. نتایج برای هر فرکانس و عمق فرستنده مربوطه نیز در جداول نشان داده شده است. با استفاده از دستگاه CTD، سرعت صوت در نقطه پروفایل، اندازه گیری شد و در محاسبات اعمال شد و بستر در صدا مدل‌سازی شد. سرعتی معادل ۱.۳ برابر سرعت صوت در آب و ضریب تضعیف بستر و ویژگی‌های ژئوآکوستیک مربوطه در مدل اعمال شده است [۱۷]. طبق شکل ۷، کیفیت انتشار صدا برای فرکانس‌های مختلف و تأثیر زیرلایه بر روی متفاوت است. انتشار صدا در فرکانس‌های پایین به طور قابل توجهی بالاتر است. بنابراین برای فرکانس‌های پایین‌تر، از مدل پیشنهادی برای بررسی دقیق‌تر اثر بستر استفاده می‌کنیم. با استفاده از مدل پیشنهادی و با استفاده از میانگین فرکانس‌های مختلف، تلفات انتقال در فاصله ۶۰۰ متری از منبع برآورد شد. با توجه به اینکه ضریب تضعیف بستر برای فرکانس‌های زیر

۳- مدل‌های انتشار و پارامترهای محیطی

مدل‌های انتشار آکوستیک به دو دسته عمده تقسیم می‌شوند. یک گروه بر اساس تئوری پرتو و گروه دیگر بر اساس نظریه موج است. بر اساس این دسته‌بندی، از مدل‌های استاندارد برای انتشار صوت استفاده می‌شود [۱۶-۱۴]. در این بخش ابتدا از مدل RAM برای محاسبه تلفات انتقال در فرکانس‌های بالاتر از ۱۰۰ هرتز استفاده می‌کنیم و سپس برای محاسبه تلفات انتقال در فرکانس‌های ۲۵ و ۶۳ هرتز از مدل پیشنهادی در این مقاله استفاده می‌کنیم. یکی از ویژگی‌های مدل پیشنهادی این است که پارامترهای محیطی مانند لایه‌بندی آب، اثر بستر و تأثیر شکل موج بر رهاسازی آن، تأثیر شرایط دریا و تأثیر تغییرات پروفایل سرعت بر انتشار صوت، تأثیر تغییرات آماری موقعیت فرستنده و گیرنده است و با استفاده از این مدل می‌توان تأثیر سایر نویزهای محیط را بر انتشار صدا اعمال کرد. در این مقاله تنها به بررسی تأثیر لایه‌بندی آب و تغییر موقعیت فرستنده و گیرنده می‌پردازیم.

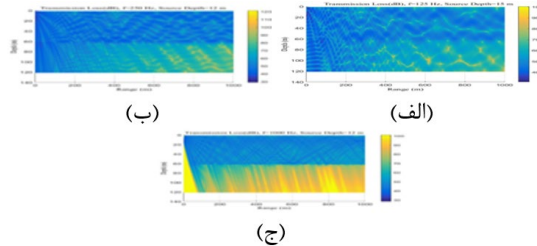
۳-۱- محاسبه افت فشار (PL) از طریق مدل RAM

در فرکانس‌های بالاتر از ۱۰۰۰ هرتز

در این بخش از معادلات سهموی (PE) برای محاسبه تلفات انتقال استفاده می‌کنیم. برای این منظور

۱۰۰۰ هرتز و در فواصل زیر ۱ کیلومتر نزدیک به صفر است، افت انتقال می‌تواند با استفاده از معادله

$X(f, h_s, h_r) \log(r)$ محاسبه شود که در آن f فرکانس است و h_s و h_r به ترتیب عمق فرستنده و گیرنده هستند.



شکل ۷. انتشار صدا در فرکانس‌های مختلف با استفاده از مدل RAM. همانطور که مشاهده می‌شود، تلفات انتقال (dB) در بستر و در فرکانس‌های بالاتر بیشتر است و در فرکانس‌های پایین به بستر نفوذ می‌کند.

۳-۲- محاسبه تلفات انتقال با استفاده از مدل حوزه

زمان تفاضل محدود (FDTD)

در این مقاله، ما از مدل FDTD برای محاسبه تلفات انتقال برای فرکانس‌های پایین (۲۵ و ۶۳ هرتز) استفاده می‌کنیم. تلفات انتقال پارامتری است که برای محاسبه سطح منبع کشتی با توجه به معادله ۳ استفاده می‌شود.

$$SL = SPL + PL \quad (3)$$

جایی که $SPL = RL$ سطح صدای دریافتی توسط هیدروفون‌ها است و $PL = TL$ مخفف افت انتقال است. در اندازه‌گیری‌های میدانی که با استانداردهای مختلف انجام می‌شود، تلفات انتقال با قانون ۲۰ برابر لگاریتم T محاسبه می‌شود که مربوط به قانون انتشار کروی موج است. بر اساس این قانون، T فاصله گیرنده تا نقطه فرستنده است. برای آب‌های عمیق، این قانون معتبر است اما برای آب‌های کم عمق، از مدل‌سازی انتشار موج برای محاسبه تلفات انتقال استفاده می‌شود. مدل‌های استاندارد متفاوتی برای محاسبه افت انتقال استفاده می‌شوند [۱۴-۱۶]. همه مدل‌ها در حوزه فرکانس هستند و قادر به نمایش انتشار صدا در طول زمان نیستند. در این مدل، افت انتقال برای فرکانس‌های پایین و شرایط محیطی مختلف قابل اعمال است و نتایج دقیق‌تری را به همراه دارد.

۳-۲-۱- شبیه سازی محیط انتشار با استفاده از

مدل FDTD

این بخش به محیط انتشار صدا می‌پردازد. در این مدل‌سازی عواملی مانند لایه‌بندی آب و بستر اعمال

می‌شود. برای اعمال لایه‌بندی و اثر بستر، محیط انتشار را گسسته می‌کنیم. برای ایجاد محیط انتشار، ابتدا محیط دوبعدی را به یک شبکه مربع منظم با طول ضلع a گسسته می‌کنیم [۱۷-۲۰]. ابعاد کل محیط را $L_y = 124$ a و $L_x = 8096$ a در نظر می‌گیریم. سپس لایه‌بندی آب به صورت پروفایل با سه شیب مجزا (با استفاده از داده‌های تجربی اندازه‌گیری‌های میدانی) روی محیط اعمال می‌شود و بستر با پارامترهای چگالی و سرعت آن مدل‌سازی می‌شود.

۳-۲-۲- شبیه سازی موج صوتی با روش FDTD

پیشنهادی

انتشار امواج آکوستیک در محیطی با چگالی $\rho(\mathbf{r})$ و مدول حجمی $\lambda(\mathbf{r})$ با معادله موج اسکالر زیر بیان می‌شود [۲۰]:

(۴)

$$\rho(\mathbf{r}) \frac{\partial^2 \Psi(\mathbf{r}, t)}{\partial t^2} - \nabla \cdot [\lambda(\mathbf{r}) \nabla \Psi(\mathbf{r}, t)] = S(\mathbf{r}_s, t)$$

که در آن $\Psi(\mathbf{r}, t)$ اندازه جابجایی نقاط محیط نسبت به محل تعادل خود (فشار آکوستیک) و $S(\mathbf{r}_s, t)$ چشمه تولید موج در مکان \mathbf{r}_s می‌باشند. برای حل عددی معادله موج از روش گسسته‌سازی به شیوه‌ی تفاضل محدود استفاده شده است، بطوریکه مشتق زمانی را تا مرتبه‌ی دوم بصورت صریح و مشتقات مکانی را تا مرتبه‌ی چهارم بسط می‌دهیم. مشتق زمانی را به صورت زیر تا مرتبه‌ی دوم بسط می‌دهیم:

(۵)

$$\frac{\partial^2 \Psi(\mathbf{r}, t)}{\partial t^2} = \frac{\Psi^{n-1}(\mathbf{r}, t) - 2\Psi^n(\mathbf{r}, t) + \Psi^{n+1}(\mathbf{r}, t)}{\Delta t^2}$$

با روش دترمینال ضرایب مشتقات مرتبه‌ی اول و دوم دامنه‌ها را برحسب مقادیر آن‌ها در گره‌های مجاور بدست می‌آوریم؛ مانند رابطه ۵:

(۶)

$$\frac{\partial \psi(i, j, m)}{\partial x} = \frac{-\psi(i+2, j, m) + 8\psi(i+1, j, m) - 8\psi(i-1, j, m) + \psi(i-2, j, m)}{12\Delta x}$$

(۷)

$$\frac{\partial^2 \psi(i, j, m)}{\partial x^2} = \frac{\Psi(i+2, j, m) + 16\Psi(i+1, j, m) - 30\Psi(i, j, m) + 16\Psi(i-1, j, m) - \Psi(i-2, j, m)}{12\Delta x^2}$$

۳-۲-۳- شرایط فیزیکی انتشار

۳-۲-۳-۱- بررسی شرط پایداری جواب و مدلسازی

چشمه صوت ارسالی

در مدل شبیه سازی شده از پارامترهای زیر استفاده شده است.

$$\begin{aligned}\Delta x &= 1 \\ \Delta y &= 1 \\ \Delta z &= 1 \\ \Delta t &= 0.025\end{aligned}$$

(۸)

شرط پایداری حل عددی در انتشار موج توسط افراد گوناگونی مورد بررسی قرار گرفته است [۱۷-۲۰]، ρ و λ به ترتیب چگالی و مدول حجمی می باشند.

$$v = \sqrt{\frac{\lambda}{\rho}}, \Delta u = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$$

$$v \frac{\Delta t}{\Delta u} \leq 1$$

(۹)

با جاگذاری مقادیر جابجایی Δu و v در معادله ی بالا به شرط زیر می رسیم که همان شرط پایداری جواب می باشد.

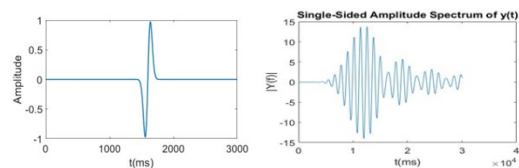
$$\sqrt{\frac{\lambda}{\rho}} \frac{\Delta t}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}} \leq 1$$

(۱۰)

شرط پایداری جواب از آن جهت دارای اهمیت است که در صورت عدم رعایت آن، جواب نادرست ناشی از خطای محاسبات رایانه، صحت نتایج را کم می کند. در این تحقیق شرط پایداری جواب نیز برای انتشار صوت اعمال گردید. از چشمه صوت با شکل سینوسی مطابق با رابطه زیر استفاده شد.

$$S(r,t) = A \sin(\omega t) \quad (11)$$

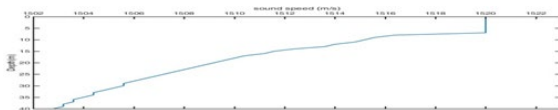
در رابطه A دامنه و ω سرعت زاویه ای چشمه صوت می باشد. در شکل های زیر (شکل ۸) یک نمونه از سیگنال تولید شده در حوزه زمان و فرکانس نشان داده شده است.



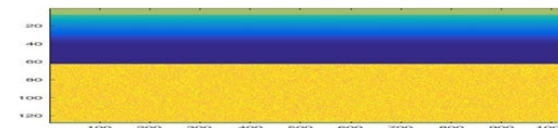
شکل ۸- نمایش حوزه زمان چشمه صوت با تابعیت مشتق گاوسی (الف) اصل چشمه صوتی. (ب) فرکانس ۲۵ هرتز فیلتر شده با پهنای یکسوم اکتاو و انتشار یافته در محیط.

۳-۲-۳-۲- پروفایل سرعت صوت و شرایط بستر

برای مدل استفاده شده در این مقاله با توجه به تعریف نقطه به نقطه چگالی و مدول یانگ محیط می توانیم سرعت صوت را در کل محیط شبیه سازی شده تعیین نماییم. صوت در دو محیط مختلف یکی با اعمال اثر لایه بندی و دیگری بدون اعمال اثر لایه بندی و با فرض یکنواخت بودن سرعت در عمق، انجام می گردد و اثر بستر نیز برای هر دو محیط به صورت رندوم در طول فاصله و با سرعتی معادل با ۱.۱ تا ۱.۲ برابر نسبت به سرعت صوت در آب تعریف می گردد. برای تابعیت این تغییرات سرعت با مسافت می توان از توابع رندوم دیگری استفاده کرد که بررسی و تحلیل آن را در نویسنده مقاله به عنوان ایده جدید پیشنهاد می کند. برای اعمال شرایط محیطی از پروفایل شکل ۹ استفاده می شود که بر اساس اندازه گیری میدانی با استفاده از دستگاه CTD در فصل تابستان اندازه گیری شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۹- پروفایل سرعت صوت (الف) لایه بندی آب تا عمق ۴۰ متری. (از عمق ۴۰ متری تا بستر پروفایل سرعت صوت ثابت در نظر گرفته شده است) (ب) سرعت صوت در تمام نقاط محیط.

نمونه ای از نحوه انتشار موج آکوستیک شبیه سازی شده در محیطی با اعمال تغییرات سرعت لایه های آب و تغییرات رندوم بستر دریا که در شکل ۱۰ نمایش داده شده است در انتشار صوت تاثیر داده شده است. با توجه به شیب بستر و پروفیل سرعت صوت نحوه انتشار به گونه ای می باشد که صوت از قسمت هایی که سرعت در آنها کمتر است عبور حداکثری دارد و قسمتی از صوت منتشر شده از بستر عبور می نماید.



شکل ۱۰- انتشار در محیط شبیه سازی شده با اعمال تغییرات لایه بندی آب و تغییرات به صورت رندوم بستر

Transmitter depth (m)	Receiver depth (m)	TL(dB)	F(Hz)
1	40	$25 \log r$	25
2	40	$25.3 \log r$	25
3	40	$26 \log r$	25
12	40	$26.7 \log r$	25
15	40	$27 \log r$	25
17	40	$27.4 \log r$	25
1	40	$10.5 \log r$	63
2	40	$10.8 \log r$	63
3	40	$11.3 \log r$	63
12	40	$13.3 \log r$	63
15	40	$14.5 \log r$	63
17	40	$14.6 \log r$	63

۴- برآورد سطح منبع صوت

۴-۱- برآورد سطح منبع با استفاده از محاسبات مدل سازی و ملاحظات عددی

این بخش به تلفات انتقال برای کشتی‌های مختلف در یک سوم اکتاو فرکانس‌های مرکزی ۲۵، ۶۳، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هرتز می‌پردازد. مقادیر تلفات انتقال به دست آمده از قوانین مختلف، مانند تلفات انتقال استاندارد، تلفات انتقال نظری، تلفات عملی و تلفات انتقال از مدل محاسباتی در جداول زیر گزارش شده‌اند. در روش استاندارد ISO1702 تلفات انتقال برای تمامی حالت‌های $20 \log r$ در نظر گرفته می‌شود که همان تلفات انتقالی ناشی از انبساط هندسی موج کروی منتشر شده است و برای آب‌های عمیق با dCPA پایین معتبر است و این تقریب در همه جا معتبر نیست. برای آب کم‌عمق و با dCPA بالا و با رعایت شرط میدان دور از تقریب $10 \log r$ که مربوط به انتشار استوانه‌ای یا قانون تلفات انتقال نظری است استفاده می‌شود، اما با توجه به اینکه قسمتی از انتشار کروی و قسمت دیگر انتشار به صورت استوانه‌ای است برخی دانشمندان از رابطه تقریبی افت انتقال عملی $15 \log r$ استفاده می‌کنند. در این مقاله برای فرکانس‌های پایین از معادله به دست آمده از مدل انتشار موج FDTD و در فرکانس‌های برابر با ۱۲۵ و بالاتر از مدل RAM که وابسته به شرایطی مانند عمق گیرنده و فرستنده و شرایط لایه‌بندی و بستر استفاده می‌شود. عمق فرستنده مربوط به خط آب‌خور کشتی است که برای کشتی‌های کوچک کمتر از ۱ متر و برای کشتی‌های بزرگ ۱۷ متر است.

۳-۲-۳- مکان فرستنده و گیرنده در شبیه سازی

در محیط شبیه‌سازی شده، منبع صوتی مشتق گاوسی شروع به انتقال یک موج صوتی با مشتق گاوسی در اعماق مربوط به مرکز صوتی کشتی (خط آب‌خور کشتی)، یعنی ۱، ۲، ۳، ۱۲، ۱۵ و ۱۷ متر می‌کند. در شکل ۹ نشان داده شده است). گیرنده‌های صدا در فاصله ۴۰ متری (تخت بستر) و در هر عمق ۱۲ هیدروفون در فواصل ۵۰ تا ۶۰۰ متری به فاصله ۵۰ متر از هم قرار دارند.

گیرنده‌ها فشار میانگین مربعات مجذوری را با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آورند.

$$P_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T P^2 dt} \quad (12)$$

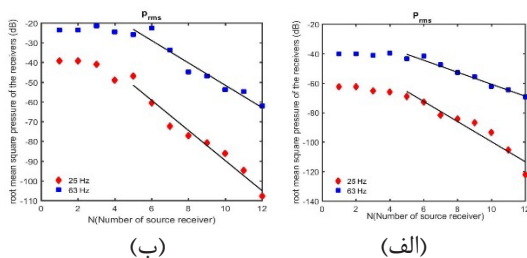
T، کل بازه زمانی دریافت داده توسط دریافت‌کننده و p، فشار در نقطه مورد نظر می‌باشد.

۴-۲-۳- رابطه فشار متوسط با فاصله، فرکانس و عمق گیرنده و فرستنده

این بخش میانگین فشار ثبت شده توسط سنسورهای مختلف در عمق ۴۰ متری از سطح را بر حسب فاصله افقی از جهت فرستنده برای فرکانس‌های مختلف و موقعیت‌های فرستنده مختلف بررسی می‌کند. شکل ۶ میانگین فشار مربع ریشه ثبت شده توسط ۱۲ هیدروفون برای گیرنده n در عمق ۴۰ متری را نشان می‌دهد که قسمت انتهایی آن دارای تابع خطی است و شیب خطوط نصب شده با α نشان داده شده است. با توجه به اینکه ریشه میانگین فشار مربع بر حسب فاصله با رابطه خطی برازش می‌شود، می‌توان معادلات زیر را تخمین زد در معادله زیر، r فاصله از هیدروفون‌های گیرنده در جهت فرستنده یا منبع و N گیرنده است.

$$p_{rms} \cong 10^{\lambda N + \alpha} \quad (13)$$

$$N \propto r$$



شکل ۱۱- معادله فشار متوسط؛ الف) معادله فشار متوسط بر حسب عمق فرستنده در ۱ متر، ب) معادله فشار متوسط بر حسب عمق فرستنده در ۱۵ متر.

جدول ۲- نتایج شبیه سازی

جدول ۳- نتایج افت انتقال برای شناورهای A01 و A02 و A03

Frequency (dB)	Transmitter depth (m)	Receiver depth(m)	d _{CPA} (m)	Spherical transition loss	Cylindrical transition loss	Practical transition loss	Model transition loss	
							FDTD	RAM
25	1	40	450	20log _r	10log _r	15log _r	Table 2	
63	1	40	450	20log _r	10log _r	15log _r	Table 2	
125	1	40	450	20log _r	10log _r	15log _r		17.2log _r
250	1	40	450	20log _r	10log _r	15log _r		17.4log _r
500	1	40	450	20log _r	10log _r	15log _r		18.8log _r
1000	1	40	450	20log _r	10log _r	15log _r		18.2log _r

جدول ۴- نتایج افت انتقال برای شناورهای A04 و A05 و A06

Frequency (dB)	Transmitter depth(m)	Receiver depth (m)	d _{CPA} (m)	Spherical transition loss	Cylindrical transition loss	Practical transition loss	Model transition loss	
							FDTD	RAM
25	1	40	450	20log _r	10log _r	15log _r	Table 2	
63	1	40	450	20log _r	10log _r	15log _r	Table 2	
125	1	40	450	20log _r	10log _r	15log _r		17.2log _r
250	1	40	450	20log _r	10log _r	15log _r		17.5log _r
500	1	40	450	20log _r	10log _r	15log _r		18.6log _r
1000	1	40	450	20log _r	10log _r	15log _r		18.5log _r

جدول ۵- نتایج افت انتقال برای شناورهای A06 و A07 و A08

Frequency (dB)	Transmitter depth (m)	Receiver depth (m)	d _{CPA} (m)	Spherical transition loss	Cylindrical transition loss	Practical transition loss	Model transition loss	
							FDTD	RAM
25	3	40	450	20log _r	10log _r	15log _r	Table 2	
63	3	40	450	20log _r	10log _r	15log _r	Table 2	
125	3	40	450	20log _r	10log _r	15log _r		18.8log _r
250	3	40	450	20log _r	10log _r	15log _r		17.4log _r
500	3	40	450	20log _r	10log _r	15log _r		17.7log _r
1000	3	40	450	20log _r	10log _r	15log _r		16.3log _r

جدول ۶- نتایج افت انتقال برای شناورهای A01

Frequency (dB)	Transmitter depth (m)	Receiver depth(m)	d _{CPA} (m)	Spherical transition loss	Cylindrical transition loss	Practical transition loss	Model transition loss	
							FDTD	RAM
25	12	40	450	20log _r	10log _r	15log _r	Table 2	
63	12	40	450	20log _r	10log _r	15log _r	Table 2	
125	12	40	450	20log _r	10log _r	15log _r		15.7log _r
250	12	40	450	20log _r	10log _r	15log _r		17.5log _r
500	12	40	450	20log _r	10log _r	15log _r		16.6log _r
1000	12	40	450	20log _r	10log _r	15log _r		16.6log _r

جدول ۷- نتایج افت انتقال برای شناورهای B03

Frequency (dB)	Transmitter depth (m)	Receiver depth(m)	d _{CPA} (m)	Spherical transition loss	Cylindrical transition loss	Practical transition loss	Model transition loss	
							FDTD	RAM
25	15	40	450	20log _r	10log _r	15log _r	Table 2	
63	15	40	450	20log _r	10log _r	15log _r	Table 2	
125	15	40	450	20log _r	10log _r	15log _r		15.8log _r
250	15	40	450	20log _r	10log _r	15log _r		15.4log _r
500	15	40	450	20log _r	10log _r	15log _r		16.8log _r
1000	15	40	450	20log _r	10log _r	15log _r		17log _r

جدول ۸- نتایج افت انتقال برای شناورهای A02

Frequency (dB)	Transmitter depth (m)	Receiver depth (m)	d_{CPA} (m)	Spherical transition loss	Cylindrical transition loss	Practical transition loss	Model transition loss	
							FDTD	RAM
25	17	60	450	$20\log r$	$10\log r$	$15\log r$	Table 2	
63	17	60	450	$20\log r$	$10\log r$	$15\log r$	Table 2	
125	17	60	450	$20\log r$	$10\log r$	$15\log r$		$16.5\log r$
250	17	60	450	$20\log r$	$10\log r$	$15\log r$		$14.4\log r$
500	17	60	450	$20\log r$	$10\log r$	$15\log r$		$15.2\log r$
1000	17	60	450	$20\log r$	$10\log r$	$15\log r$		$15.2\log r$

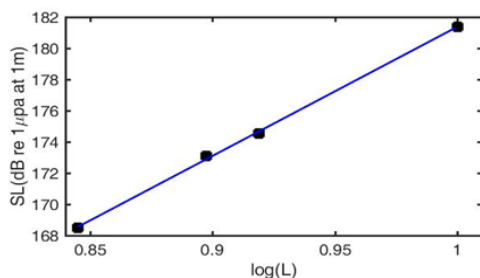
۲-۴- اندازه گیری سطح منبع پهین باند

پس از محاسبه تلفات انتقال با استفاده از مدل پیشنهادی و مدل استاندارد RAM، سطح منبع پهین باند را در محدوده فرکانس ۱ تا ۲۵۰۰ هرتز محاسبه می‌کنیم. جدول ۹ شرایط اندازه‌گیری را برای ۱۲ شناور مختلف نشان می‌دهد. در زمان اندازه‌گیری، شناورها دارای سرعت‌های ثبت‌شده و شرایط میدانی یکسان بر اساس اصول اندازه‌گیری استاندارد بودند.

جدول ۹- سطح منبع اندازه گیری شده برای کلاس های مختلف

Vessel class	Vessel name	Engine type	Body type	Length (m)	Speed (knot)	Waterline depth (m)	Hydrophone depth (m)
A	A01	Propeller	Mono Hall	8.3	16.5	1	40
	A02	Propeller	Mono Hall	7.9	15	1	40
	A03	Propeller	Mono Hall	7	15	1	40
	A04	Propeller	Mono Hall	17	12.5	2	40
	A05	Propeller	Mono Hall	10	17	2	40
	A06	Propeller	Mono Hall	33	8	3	40
	A07	Propeller	Mono Hall	17	5	2	40
	A08	Propeller	Mono Hall	33.5	7	3	40
	A09	Propeller	Mono Hall	26.6	3.5	3	40
B	B01	Propeller	Mono Hall	150	8	17	60
	B02	Propeller	Mono Hall	110	5	15	40
	B03	Propeller	Mono Hall	52	4	12	40

نمودار و قطع آن، می‌توان معادله تجربی برای کشتی‌های کوچک با سرعت یکسان (۱۵ گره) به دست آورد.

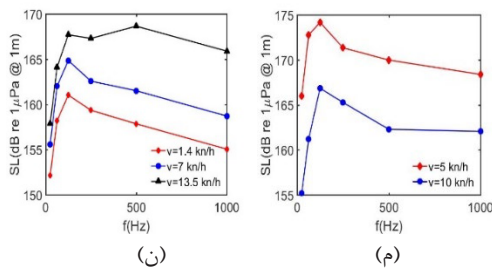


شکل ۱۲- سطح منبع پهینای باند بر حسب طول کشتی با استفاده از داده‌های میدانی اندازه‌گیری شده است (سرعت کشتی‌ها تقریباً برابر است).

نتایج اندازه‌گیری سطح منبع نشان می‌دهد که شناورهای کلاس A و با طول تقریبی ۷ تا ۳۵ متر (به استثنای شناور A06) دارای ارزش سطح منبع ۱۷۴ تا ۱۷۸ دسی‌بل و شناورهای کلاس B (۵۰ تا ۱۵۰ متر) دارای سطح منبع پهینای باند ۲۱۴ تا ۲۲۰ دسی‌بل است. این نتایج با نتایج تجربی مشاهده شده توسط آلن و همکاران [۸] مطابقت دارد. برای چهار کشتی ماهی‌گیری با طول کمتر از ۱۰ متر و شرایط اندازه‌گیری یکسان، سطح منبع پهین باند در شکل ۱۲ نشان داده شده است. همانطور که نمودار سطح منبع بر حسب لگاریتم رسم شده است. طول کشتی و نقاط توسط یک تابع خطی برازش شده است و با توجه به شیب

جدول ۱۰- مقایسه سطوح منبع صوتی اندازه گیری شده و مقایسه با مقالات دیگر

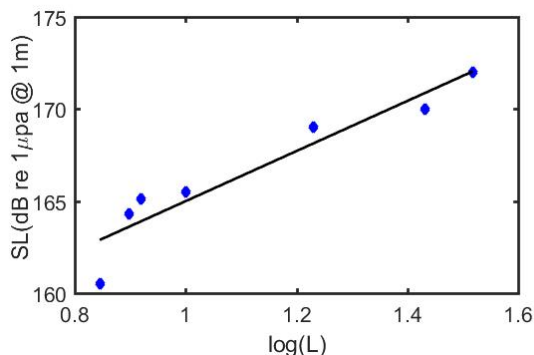
Vessel type	Length (m)	Source level	Measurement source	Prediction with the proposed equation	Mean difference
Fishing	12.1	187	Allen 2012 [8]	188.2546	1.2
Fishing	11.3	184	Allen 2012 [8]	185.7949	1.7
Fishing	10.4	182	Allen 2012 [8]	182.8104	0.8
Fishing	11.6	187	Allen 2012 [8]	186.7371	0.3
Small vessels	7.5-10	170-180	Richardson 1995 [2]	171-181	1



شکل ۱۳- سطح منبع صوتی انتشاری از شناور در یک سوم اکتاو باند فرکانس‌های مختلف در سرعت‌های مانور متفاوت برای کلاس‌های الف) A01 ب) A02 ج) A03 د) A04 ر) A05 ز) A06 م) A07 ن) A08.

۲-۳-۴- اندازه گیری سطح منبع صوتی شناور در یک سوم اکتاو باند ۱۰۰ هرتز بر حسب طول

فشار آکوستیک در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز برای ۷ کشتی ماهی‌گیری با مشخصات ارائه شده در جدول ۱ در شرایط استاندارد در محدوده باند اکتاو سوم با فرکانس مرکزی ۱۰۰ هرتز بود. شکل ۱۴ لگاریتم طول کشتی را نشان می‌دهد. داده‌های شکل با تابع خطی برازش داده شده‌اند و معادله تجربی با رابطه ۱۲ بدست آمده با یافته‌های سایر مطالعات علمی مطابقت دارد [۶، ۷].

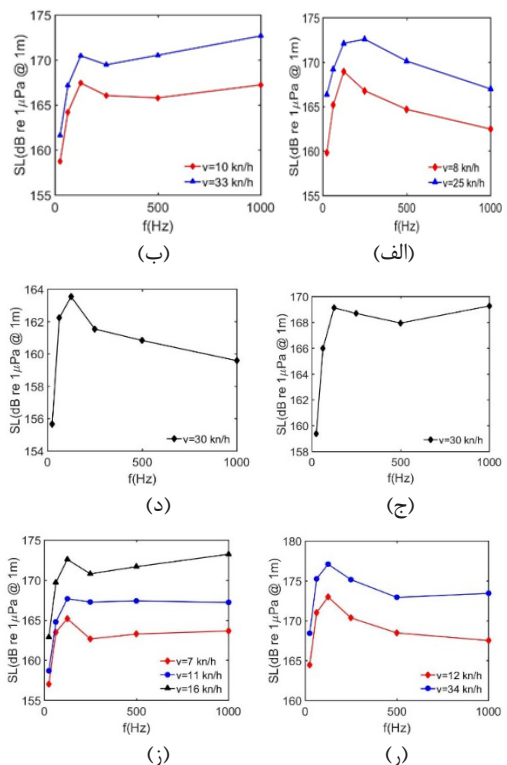


شکل ۱۴- سطح صوت در یک سوم اکتاو باند ۱۰۰ هرتز بر حسب شناورهای با طول مختلف و سرعت برابر.

$$SL = 13.6029 \log(L) + 151.3935 \quad (14)$$

۳-۴- اندازه گیری سطح منبع صوتی یک سوم اکتاو ۱-۳-۴- اندازه گیری سطح منبع صوتی بر حسب باند یک سوم اکتاو فرکانس مورد نظر

سطوح منبع در یک سوم اکتاو باندهای مختلف متفاوت است. در شکل‌های زیر، نمودارهای سطح منبع برای چندین کلاس کشتی نشان داده شده است. مقادیر سطح منبع با استفاده از قانون تلفات انتقال استاندارد برای یک سوم فرکانس اکتاو و فرکانس برای کلاس‌های مختلف کشتی‌ها با استفاده از داده‌های میدانی اندازه‌گیری شده، همانطور که در شکل‌های زیر نشان داده شده است (شکل ۸).

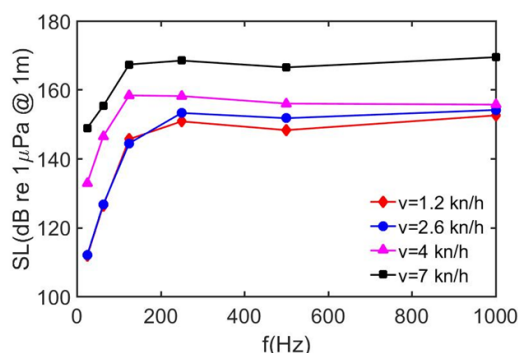
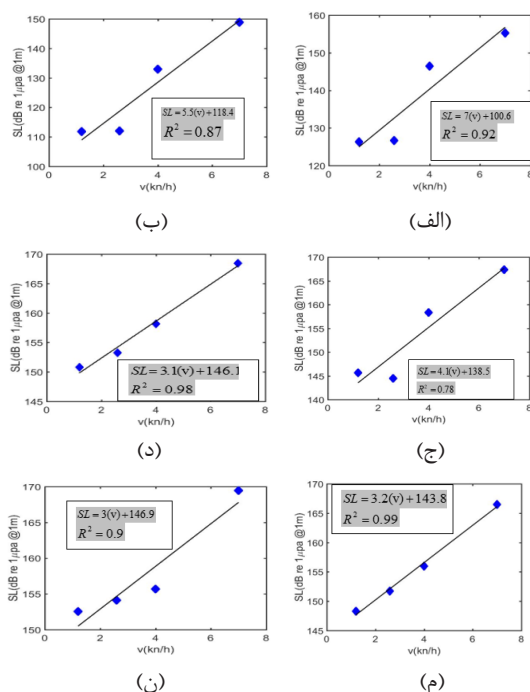


Vessel type	Length (m)	Source level	Measurement source	Prediction with the proposed equation	Prediction with urick equation [24]
Carrier	173	180	McKenna 2012 [6]	181.8	162
Cargo	199	181.8	McKenna 2012 [6]	182.6	167
Cargo	347	188	McKenna 2013 [7]	186	184.1

۳-۳-۴- اندازه گیری سطح منبع صوتی شناور

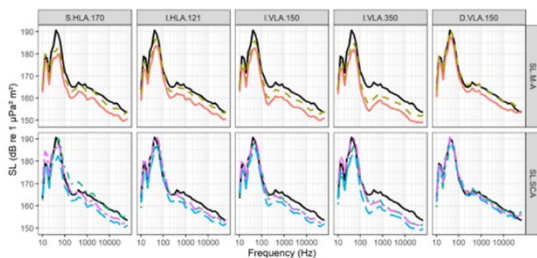
بر حسب سرعت و بدست آوردن رابطه

سطح فشار آکوستیک برای کشتی کلاس A09 با طول ۲۶۶ متر در سرعت های مختلف اندازه گیری شد. همانطور که در شکل ۱۵ مشاهده می شود، هنگامی که سرعت کشتی افزایش می یابد؛ فشار صوتی نیز افزایش می یابد.



شکل ۱۵- سطح منبع اندازه گیری شده بر حسب یک سوم فرکانس اکتاو برای کشتی A09

همانطور که در شکل بالا نشان داده شده است؛ سطح منبع اندازه گیری شده بر حسب سرعت رابطه مستقیمی با فرکانس دارد. شکل های زیر مقادیر سطح منبع اندازه گیری شده در یک سوم اکتاو فرکانس های مختلف را برای کشتی A09 نشان می دهد. نمودارهای حاصل با یک تابع خطی برازش داده شده اند و شیب نمودارها نیز در شکل ۱۶ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود با افزایش فرکانس، روند افزایشی سطح منبع از نظر سرعت کاهش می یابد و تقریباً ثابت می شود. فرکانس های ۲۵، ۶۳، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هرتز، همانطور که برای کشتی A09 نشان داده شده است.



شکل ۱۷- نتایج حاصل از اندازه گیری سطح فشار آکوستیکی شناورهای مختلف در فرکانس ها و فواصل مختلف. نتایج مرجع ۲۲ مقاله

نتایج بدست آمده از این مقاله همانطور که در شکل ۱۷ نشان داده شده است با نتایج مقاله های تجربی معتبر دنیا مطابقت قابل ملاحظه دارد [21,22].

نتایج

برای اندازه گیری دقیق در آب های کم عمق، لازم است از مدل سازی آکوستیک برای محاسبه و اعمال تلفات انتقال صوت و اثر انعکاس روی سطح و بستر با استفاده از محاسبات کامپیوتری انجام شود. در این مقاله ابتدا سطح منبع صوتی انتشار یافته از چندین کلاس مختلف شناور با استفاده از روش استاندارد محاسبه شد. مدل سازی RAM برای محاسبه تلفات انتقال در فرکانس های بالای ۹۰۰ هرتز و محاسبات جدید توسعه یافته بر اساس روش FDTD برای محاسبه تلفات انتقال در فرکانس های پایین تر مورد استفاده قرار گرفت. مدل پیشنهادی می تواند عدم قطعیت در اندازه گیری ها و اثر بازتاب از سطح زیرلایه را توضیح دهد که با مدل های معمولی و سایر مدل های موجود نمی توان آن را به راحتی تشخیص داد، شناورهای مورد استفاده در این مطالعه ۱۲ فروند بودند که به دو کلاس A و کلاس B (سنگین)، به ترتیب شامل ۹ و ۳ کشتی، که سطوح صوتی انتشاری از آنها در دو فرکانس پهن باند (۱ تا ۲۵۰۰ هرتز) و یک سوم اکتاو فرکانس ۲۵، ۶۳، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ Hz مورد بررسی قرار گرفت. سطوح صوتی انتشاری پهنای باند شناورهای کوچک با طول کمتر از ۱۵ متر اندازه گیری گردید و به صورت رابطه ای تجربی نمایش داده شد. با اندازه گیری سطح صوتی انتشاری در یک سوم باند فرکانسی اکتاو ۱۰۰۰ هرتز برای هفت شناور مختلف با طول های متفاوت و رابطه تجربی بدست آمد که با نتایج سایر مقالات همخوانی بالایی دارد. علاوه بر این، نتایج ما نشان می دهد و نهایتاً مقادیر سطح منبع صوتی انتشاری برای شناورهای کلاس A09 بر حسب سرعت کشتی در فرکانس های مختلف محاسبه شد و به صورت رابطه تجربی نمایش داده شد و مقادیر حاصل با داده های مطالعه McKenna (2013) نزدیک و قابل مقایسه بود [7]. نتایج این مقاله جهت هوشمندسازی انواع شناورهای دریایی در خلیج فارس دارای اهمیت اساسی می باشد. می توان از نتایج حاصل برای هوشمندسازی انواع شناورهای زیرسطحی و سطحی بهره گرفت.

تشکر و قدردانی

از آقایان دکتر علی اصغر آبنیکی و دکتر عباس اسدزاده و از تمامی دوستانی که در این تحقیق یاور ما بودند کمال تشکر و قدردانی را داریم.

مراجع

1. R. C. Gisiner, "Workshop on the Effects of Anthropogenic Noise in the Marine Environment, 10-12 February 1998. Proceedings," OFFICE OF NAVAL RESEARCH ARLINGTON VA MARINE MAMMAL AND BIOLOGICAL OCEANOGRAPHY PROGRAM 1998.
2. W. J. Richardson, K. J. Finley, G. W. Miller, R. A. Davis, and W. R. Koski, "Feeding, social and migration behavior of bowhead whales, *Balaena mysticetus*, in Baffin Bay vs. the Beaufort Sea—regions with different amounts of human activity," *Marine mammal science*, vol. 11, pp. 1-45, 1995.
3. E. H. Buck, "Acoustic Thermometry of Ocean Climate: Marine Mammal Issues," 1995.
4. R. K. Andrew, B. M. Howe, J. A. Mercer, and M. A. Dzieciuch, "Ocean ambient sound: comparing the 1960s with the 1990s for a receiver off the California coast," *Acoustics Research Letters Online*, vol. 3, pp. 65-70, 2002.
5. L. S. Wang and P. Theobald, "Calculation of ship source level in shallow water by propagation modelling," in *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*, 2016, pp. 3576-3582.
6. M. F. McKenna, D. Ross, S. M. Wiggins, and J. A. Hildebrand, "Underwater radiated noise from modern commercial ships," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 131, pp. 92-103, 2012.
7. M. F. McKenna, S. M. Wiggins, and J. A. Hildebrand, "Relationship between container ship underwater noise

- Massachusetts Institute of Technology*, 2004.
- 15.M. B. Porter, "The bellhop manual and user's guide: Preliminary draft," *Heat, Light, and Sound Research, Inc., La Jolla, CA, USA, Tech. Rep*, 2011.
 - 16.M. B. Porter, "The KRAKEN normal mode program," NAVAL RESEARCH LAB WASHINGTON DC1992.
 - 17.P. C. Etter, *Underwater acoustic modeling and simulation*: CRC Press, 2013.
 - 18.M. Dablain, "The application of high-order differencing to the scalar wave equation," *Geophysics*, vol. 51, pp. 54-66, 1986.
 - 19.M. D. Collins, "A split-step Padé solution for the parabolic equation method," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 93, pp. 1736-1742, 1993.
 - 20.S. MEHDI VAEZ ALLAEI and M. SAHIMI, "Shape of a wave front in a heterogenous medium," *Physical review letters*, vol. 96, 2006.
 21. Ainslie MA, Martin SB, Trounce KB, Hannay DE, Eickmeier JM, Deveau TJ, Lucke K, MacGillivray AO, Nolet V, Borys P. International harmonization of procedures for measuring and analyzing of vessel underwater radiated noise. *Mar Pollut Bull.* 2022 Jan;174:113124. doi:10.1016/j.marpolbul.2021.113124. Epub 2021 Dec 14. PMID: 34915419.
 22. MacGillivray AO, Martin SB, Ainslie MA, Dolman JN, Li Z, Warner GA. Measuring vessel underwater radiated noise in shallow water. *J Acoust Soc Am.* 2023 Mar;153(3):1506.doi:10.1121/10.017433. PMID: 37002101
 - levels and ship design, operational and oceanographic conditions," *Scientific reports*, vol. 3, p. 1760, 2013.
 - 8.J. K. Allen, M. L. Peterson, G. V. Sharrard, D. L. Wright, and S. K. Todd, "Radiated noise from commercial ships in the Gulf of Maine: Implications for whale/vessel collisions," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 132, pp. EL229-EL235, 2012.
 - 9.C. De Jong, M. Ainslie, and G. Blacquiére, "Standard for measurement and monitoring of underwater noise, Part II: procedures for measuring underwater noise in connection with offshore wind farm licensing," *Report no TNO-DV C*, vol. 251, 2011.
 - 10.L. Wang and S. Robinson, "A COMPARISON OF METHODS FOR MEASURING SHIP SOURCE LEVEL IN SHALLOW WATER."
 - 11.A. M. Rodríguez, R. S. Mullor, P. B. Palomo, E. Baudin, and V. Lamaison, "New European underwater noise measurement standard developed in the AQUO project," in *OCEANS 2015-Genova*, 2015, pp. 1-6.
 - 12.M. D. Collins, "A self-starter for the parabolic equation method," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 92, pp. 2069-2074, 1992.
 - 13.M. Khoshhali and H. Hamzeshpour, "Wave front properties of acoustic wave in disorder fractured media," *Transport in Porous Media*, vol. 107, pp. 129-140, 2015.
 - 14.H. Schmidt, "OASES version 3.1 user guide and reference manual," *Department of Ocean Engineering*,

تخمین زاویه دید و تعیین کلاس یک هدف دریایی با استفاده از

تقریب مستطیلی

علی محمد دهقانی*^۱ و سیدمحمد علوی^۲

۱- استادیار دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (علیه السلام) - دانشگاه علوم و فنون دریایی امام خامنه‌ای (مدظله العالی)

۲- گروه مخابرات، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه جامع امام حسین (علیه السلام)، تهران، ایران

چکیده:

موضوع دسته‌بندی اهداف در رادارهای نظامی یکی از مباحث مهم موجود در این سیستم‌ها می‌باشد. در این مقاله در ابتدا الگویی با عنوان تقریب مستطیلی معرفی شده است. در این الگو شکل فیزیکی هر شناور با یک مستطیل با ابعاد متناسب تقریب زده می‌شود. هر سلول فاصله با توجه به طول موج ارسالی رادار و قدرت تفکیک‌پذیری آن معین می‌شود. سپس یک فرآیند مشخص با استفاده از شمارش تعداد سلول‌های فاصله در جهت تابش شده به سمت یک هدف دریایی معین توسط دو رادار با قدرت تفکیک بالا ارائه می‌شود. طول مؤثر مقابل رادار، تعیین‌کننده تعداد سلول‌های فاصله در این راستا می‌باشد. با این روش امکان تخمین زاویه تابشی رادار به سمت هدف مهیا می‌شود و در نهایت کلاس هدف از نظر اندازه فیزیکی آن معین می‌گردد. نتیجه این مقاله، معین شدن زاویه دید رادار نسبت به شناور هدف را به همراه خواهد داشت. بدین معنا که در هر لحظه رادار از کدام جهت به شناور موردنظر تابش می‌کند.

واژه‌های کلیدی:

رادار، قدرت تفکیک بالا، تخمین زاویه دید، تقریب مستطیلی

Estimating the angle of view and determining the class of a marine target using the rectangular approximation

Ali mohammad Dehghani*¹, Seyed mohammad Alavi²

^{1,2} Imam Hossein University

Abstract

Target classification in military radars is one of the most important issues in these systems. In this article, a model called rectangular approximation is introduced at the beginning. In this model, the physical shape of each float is approximated by a rectangle with proportional dimensions. Each range cell is determined according to the radar's transmitted wavelength and its resolution. Then, a specific process is provided by counting the number of range cells in the direction radiated to a given sea target by two high-resolution radars. In front of the radar, it determines the number of distance cells in this direction. With this method, it is possible to estimate the radiation angle of the radar towards the target and finally the class of the target is determined in terms of its physical size. The result of this article will determine the angle of view of the radar relative to the target vessel. It means which direction the radar is radiating to the target vessel at any moment.

Keywords:

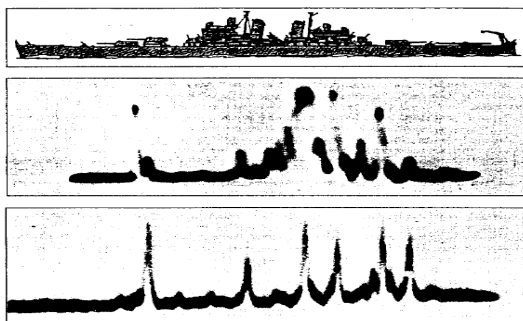
radar, High resolution, Estimating the angle of view, determining the class of a naval target, rectangular approximation

۱- مقدمه

موضوع دسته‌بندی اهداف در رادارهای نظامی یکی از مباحث مهم موجود در این سیستم‌ها می‌باشد. در رادارهای با پهنای پالس معمولی که ابعاد پالس در حدود ابعاد هدف یا حتی بیشتر از آن می‌باشد، تحقق این امر دشوار و حتی در برخی موارد غیرممکن است. برای انجام یک دسته‌بندی خوب در اهداف راداری باید از رادارهای با قدرت تفکیک بالا استفاده کرد. در رادارهای با قدرت تفکیک بالا با استفاده از نمایه‌ی برد به‌دست‌آمده، اقدام به دسته‌بندی اهداف می‌نمایند. یک رادار با داشتن قابلیت تفکیک‌پذیری به‌اندازه کافی بالا می‌تواند، تنها در یک بعد (در راستای برد) از هدف، سیگنال دریافت نماید. در این رادارها بجای تشکیل یک لکه به‌عنوان هدف، مراکز بازتابش مجزا در هدف، هرکدام جداگانه در سیگنال برگشتی اثر گذاشته و نهایتاً یک نمایه‌ی برد را ایجاد خواهند نمود. [۱]

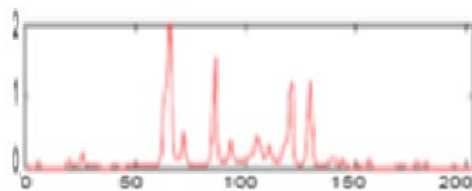
توجه اصلی بر این نکته است که در رادارهای با قدرت تفکیک بالا، تنها تفکیک‌پذیری در برد یا فاصله وجود دارد و تفکیک‌پذیری در سمت ممکن نیست. با استفاده از تفکیک‌پذیری در برد، می‌توان طول مؤثر هدف (طولی که در مقابل رادار قرار گرفته است) را دریافت کرد؛ اما قطعاً برخی از قسمت‌های هدف ممکن است در پشت برخی دیگر قرار گرفته و پوشیده شوند و بدین ترتیب از دید رادار مخفی بمانند. به هر ترتیب در رادار با قدرت تفکیک بالا، آشکارسازی یک نمایه‌ی برد انجام می‌پذیرد. با آنکه با گرفتن یک نمایه‌ی برد از هدف، امکان دسته‌بندی اهداف در رده‌های مختلف سخت هست، اما امکان دسته‌بندی در کلاس‌های ساده‌تر وجود دارد. در برخی مواقع به این نوع از دسته‌بندی‌ها، دسته‌بندی ادراکی نیز گفته می‌شود.

به‌عنوان نمونه در شکل (۱) یک نمایه برد آشکار شده توسط یک رادار HRR از یک کشتی بزرگ دریایی در یک زاویه دید خاص آورده شده است. [۲]



شکل ۱- نمایه برد یک کشتی بزرگ بر اثر تابش HRR [۱]

شکل (۲) نیز نمونه نمایه‌ی برد آشکار شده در یک رادار با قدرت تفکیک بالا از یک هدف هوایی در یک زاویه دید خاص است.



شکل ۲- نمونه نمایه برد از یک هدف هوایی

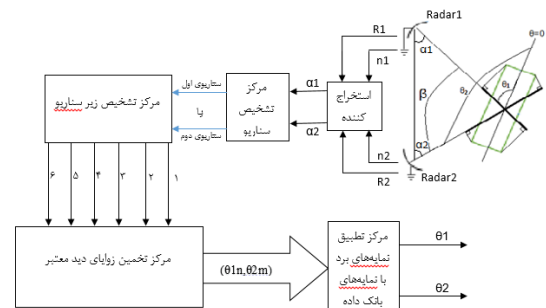
روش کار بدین‌صورت می‌باشد که در ابتدا یک بانک داده از نمایه‌ی برد مربوط به اهداف موردنظر ایجاد کرده و سپس با در نظر گرفتن نمایه‌ی برد دریافتی از هدف روبرو و مقایسه آن با بانک داده‌ی ایجادشده اقدام به تعیین کلاس هدف می‌شود. نکته مهم در خصوص تشکیل بانک داده این است که هرچه تعداد عناصر این بانک زیادتر باشد، کارایی و کیفیت دسته‌بندی بیشتر خواهد شد، اما سرعت انجام کار نزول خواهد کرد و در مقابل هرچه تعداد عناصر این بانک داده کمتر باشد، رسیدن به نتیجه سریع‌تر ولی با کیفیت پایین‌تر انجام می‌پذیرد. [3]

روند کار تشکیل بانک داده و تعیین کلاس هدف، بدین‌صورت می‌باشد که نقطه تمایز اهداف با یکدیگر در ویژگی‌های منحصربه‌فرد آن‌ها در نمایه‌ی برد مربوط به هرکدام از اهداف می‌باشد. بدین معنا که هر هدفی دارای یک سری ویژگی‌های منحصربه‌فرد می‌باشد که با مقایسه نمایه‌ی حاصل از برگشتی هدف با بانک داده‌ی تشکیل‌شده، این ویژگی‌ها تشخیص داده‌شده و بدین ترتیب کلاس هدف معین می‌شود. به فضای به وجود آمده‌ی حاصل از این ویژگی‌ها، فضای ویژگی می‌گویند، به‌صورتی که هر ویژگی به یک هدف خاص مرتبط می‌شود. [۳]

۲- معرفی الگوریتم تقریب مستطیلی

دسته‌بندی اهداف یکی از مهم‌ترین موضوعاتی است که در سیستم‌های راداری مطرح می‌باشد. رادارهای با قدرت تفکیک بالا از جمله رادارهایی هستند که این امکان را مهیا می‌سازند. در این تحقیق یک روش جدید مبتنی بر اندازه‌گیری تعداد سلول‌های فاصله موجود در نمایه‌های برد آشکار شده از دو جهت متفاوت، توسط دو رادار با قدرت تفکیک بالای مشابه معرفی می‌شود. در ضمن امکان تخمین زاویه‌ی دید هدف از منظرهای متفاوت را نیز مهیا می‌سازد. [۳]

فلوچارت مربوط به الگوریتم، در شکل (۳) نمایش داده شده که در بخش‌های بعدی مقاله نحوه عملکرد آن به صورت مشروح آورده شده است.

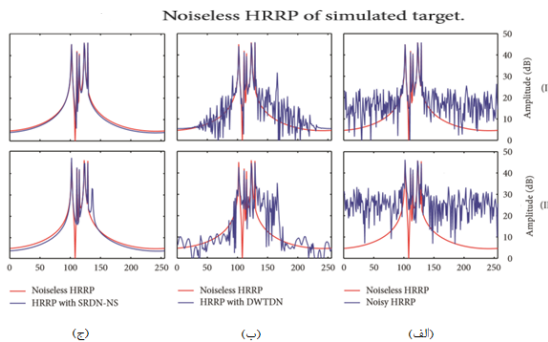
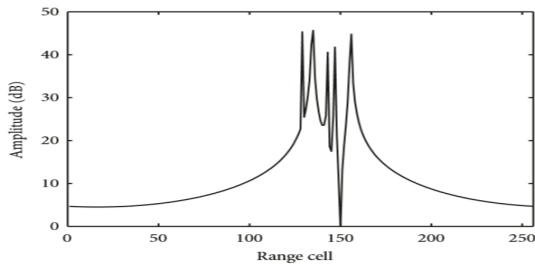


شکل ۳- بلوک دیاگرام نحوه عملکرد الگوریتم و تخمین زاویه دید هدف

۳- آشکارسازی نمایه‌ی برد

در ابتدا ذکر این نکته مهم است که قبل از پرداختن به مبحث دسته‌بندی اهداف، چگونگی آشکارسازی نمایه‌های برد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. روش‌های مختلفی برای حذف نویز از نمایه‌ی برد دریافتی وجود دارد که از جمله می‌توان به تحقیق [۴] اشاره کرد. این تحقیق، یک روش حذف نویز جدید بر اساس نمایش قله‌های مهم و با توجه به این نکته که منظور از نویز، نویز سفید گوسی جمع شونده می‌باشد، ارائه می‌دهد. سیگنال برگشتی از هدف به صورت تنک (فقط قله‌های مهم) در نظر گرفته می‌شود. هم‌چنین مسئله حذف نویز به عنوان یک مدل نمایش تنک توصیف می‌شود. سطح نویز برگشتی (که کارایی حذف نویز را سخت می‌کند و اغلب ناشناخته است) با روش زیر فضا، بر روی ماتریس همبستگی عناصر زیرفضا تخمین زده می‌شود. منظور از عناصر زیرفضا، همان شکستن فضای ویژگی بر اساس پایه‌های متعامد می‌باشد. پنجره عناصر زیر فضا، تخمین

سطح نویز را با استفاده از تنها یک جمله مشاهده شده پردازش می‌کند. این امر نه تنها بازده تخمین را گارانتی می‌کند، بلکه از حساسیت شیفت زمانی نمایه‌ها نیز اجتناب می‌کند. نتایج تجربی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی می‌تواند نسبت سیگنال به نویز را در برگشتی افزایش داده و یک نمایه با کیفیت بالاتر را به دست آورد. شکل (۴) بیانگر مطالب بیان شده در بالا می‌باشد.



شکل ۴- نمایه‌ی برد اصلی و چگونگی حذف نویز از آن [۵]

در شکل (۴-الف) شکل موج بدون نویز و نویزی شده در دو حالت با نویزهای با قدرت تفکیک متفاوت به نمایش گذاشته شده است. در شکل (۴-ب) دو شکل موجود نتیجه حذف نویز توسط روش DWTDN را نشان می‌دهد و در نهایت شکل (۴-ج)، دو شکل موجود نتیجه حذف نویز توسط روش SRDN را نشان می‌دهد.

۴- تشکیل فضای ویژگی

یکی از موارد بسیار مهم در خصوص دسته‌بندی اهداف در رادارهای با قدرت تفکیک بالا که می‌تواند به شدت به مسئله دسته‌بندی اهداف کمک نماید، بحث تخمین زاویه‌ی دید هدف می‌باشد. در روش پیشنهادی در این تحقیق، استفاده از دو رادار مشابه با قدرت تفکیک بالا مدنظر می‌باشد. قبل از بحث در این مورد، موارد مربوط به هدف، تقریب شکلی و روابط حاکم بر آن مورد بحث قرار می‌گیرد. در این تحقیق به صورت ویژه به بحث بر روی اهداف دریایی و شناورها پرداخته شده است. اساس تحقیق بر روی جداسازی و دسته‌بندی پنج نوع از اهداف دریایی با استفاده از نمایه‌های برد دریافتی از دو رادار با قدرت

$$n = \frac{d}{l} \quad (4)$$

که در اینجا d اندازه قطر هدف می باشد. حال می توان در تمام حالت های موجود بین رادار و هدف، تعداد سلول های فاصله موجود در نمایه برد آشکار شده را محاسبه کرد و در قالب جدول (۱) بیان نمود:

جدول ۱- ارتباط بین محدوده زاویه دید با تعداد سلول های فاصله

محدوده θ	تعداد سلول های فاصله
$0 \leq \theta \leq \pi/2$	$n(\theta) = \frac{2d \cos(\varphi - \theta)}{c\tau}$
$=\pi/2 + \alpha$ & θ $0 \leq \alpha \leq \pi/2$	$n(\theta) = n(\frac{\pi}{2} - \alpha)$
$=\pi + \alpha$ & θ $0 \leq \alpha \leq \pi/2$	$n(\theta) = n(\alpha)$
$=3\pi/2 + \alpha$ & θ $0 \leq \alpha \leq \pi/2$	$n(\theta) = n(\frac{\pi}{2} - \alpha)$

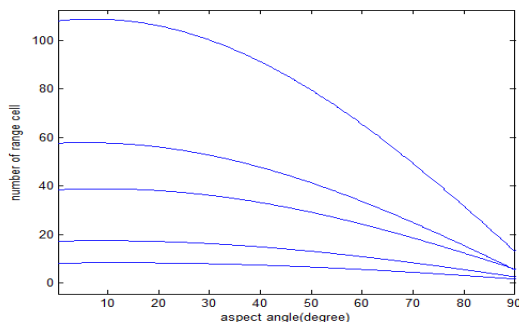
در حالت کلی می توان تعداد سلول های فاصله را به صورت تابعی از زاویه دید، پهنای پالس ارسالی، طول و

$$l = c \frac{\tau}{2} \quad (1)$$

عرض هدف بیان نمود.

$$n(\theta, \tau, p, q) = \frac{2\sqrt{p^2 + q^2}}{c\tau} \cos(\theta - \tan^{-1} \frac{q}{p}) \quad (5)$$

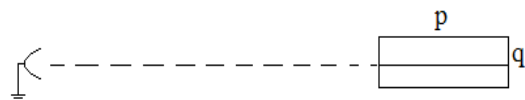
در این قسمت با توجه به رابطه محاسبه شده می توان فضای ویژگی مربوط به این تقریب را شبیه سازی نمود. نتیجه این شبیه سازی در محدوده زاویه دید بین 0 تا $\pi/2$ به صورت شکل (۷) می باشد.



شکل ۷- فضای ویژگی بر اساس زاویه دید هدف و تعداد سلول های فاصله موجود در نمایه برد

تفکیک بالا مشابه بنا شده است. از این رو با توجه به ابعاد هدف که همان، طول و عرض هدف می باشد، اقدام به این امر صورت گرفته است. در این تحقیق از تقریبی به نام تقریب مستطیلی استفاده می شود، بدین ترتیب که شناور را به شکل تقریبی یک مستطیل در نظر گرفته و با امواج الکترومغناطیسی از این دو رادار با قدرت تفکیک بالا مشابه به آن تابانده می شود و سپس با استفاده از طول نمایه حاصل از این دو بازتابش، به تعیین کلاس هدف پرداخته می شود. می توان با تقریب خوبی هر هدف شناوری را از نظر ابعاد به صورت متقارن در نظر گرفت. حال اگر یک رادار با قدرت تفکیک بالا با یک زاویه دید معین به این هدف بتاباند، یک نمایه برد مجزا با طول معین را ایجاد می نماید. در کل این مقاله، زاویه دید با حرف θ در نظر گرفته شده و در ضمن $\theta=0$ ، به معنای تابش امواج راداری از سمت طول هدف می باشد. همچنین $\theta=\varphi$ به معنای زاویه دید در راستای قطر هدف می باشد. میزان قدرت تفکیک با توجه به پهنای پالس رادار عبارتست از

در این رابطه τ پهنای پالس تابشی به سمت هدف و c سرعت نور می باشد. در این مقاله بنا بر شمارش تعداد سلول ها یا سلول های فاصله موجود در یک نمایه برد می باشد؛ بنابراین اگر زاویه تابش رادار در راستای طول هدف باشد ($\theta=0$)، تعداد سلول های فاصله از رابطه (۲) و (۳) محاسبه می شود:

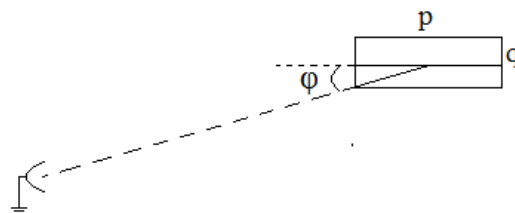


شکل ۵- تابش سیگنال رادار به سمت هدف در راستای طول هدف

$$P = n.l \quad (2)$$

$$n = \frac{2p}{c\tau} \quad (3)$$

که در اینجا p همان طول هدف می باشد.

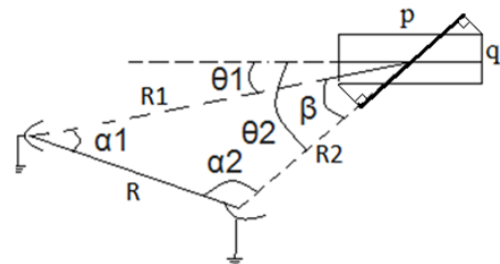


شکل ۶- تابش سیگنال راداری به سمت هدف در راستای قطر هدف

۵- استخراج ویژگی و تعیین زاویه دید احتمالی هدف

پس از تشکیل فضای ویژگی باید از نمایه‌ی برد حاصل از بازتابش هدف، تعداد سلول‌های فاصله موجود را محاسبه کرده و از روی آن زاویه دید مربوط به یک هدف خاص را معین کرد. همان‌گونه که بیان شد تعیین زاویه دید هدف، کاری بسیار مشکل و در حد غیرممکن می‌باشد. به همین دلیل در این تحقیق برای رسیدن به این منظور، از دو رادار مشابه با قدرت تفکیک بالا استفاده شده است. سناریوی موردنظر بدین صورت می‌باشد که این دو رادار در یک فاصله معین از یکدیگر قرار گرفته و با یکدیگر اقدام به تابش به سمت هدف می‌نمایند. هرکدام از این رادارها به صورت جداگانه اقدام به اندازه‌گیری فاصله هدف تا خودشان می‌نمایند. برای این منظور می‌توان دو سناریو در نظر گرفت که هرکدام از این سناریوها به‌طور جداگانه از قسمت‌های مختلفی تشکیل می‌شوند.

در اینجا و قبل از ورود به حل سناریوهای مختلف، محاسبات اولیه‌ی مربوط به عملکرد همزمان دو رادار انجام می‌گیرد.



شکل ۸- سناریوی اول: هدف در سمت راست یا چپ هر دو رادار قرار دارد

با توجه به شکل (۸) و معادلات مثلثاتی موجود و معلوم بودن مقادیر R ، R_1 و R_2 می‌توان مقادیر α_1 ، α_2 و β را از روابط (۶)، (۷) و (۸) محاسبه نمود.

$$\alpha_1 = \cos^{-1} \left(\frac{R_1^2 + R^2 - R_2^2}{2RR_1} \right) \quad (6)$$

$$\alpha_2 = \cos^{-1} \left(\frac{R_2^2 + R^2 - R_1^2}{2RR_2} \right) \quad (7)$$

$$\beta = \cos^{-1} \left(\frac{R_1^2 + R_2^2 - R^2}{2R_1R_2} \right) \quad (8)$$

تذکر: قسمت پرننگ در شکل (۶) طول مؤثر نمایه‌ی

برد مربوط به زاویه‌ی دید $\theta = \theta_2$ را نشان می‌دهد.

۵-۱- سناریوی اول

در این سناریو فرض می‌شود که هدف در سمت راست یا سمت چپ هر دو رادار قرار گرفته است. تشخیص این حالت با در نظر گرفتن مقادیر زوایای α_1 و α_2 امکان‌پذیر می‌باشد. شرط وجود سناریوی اول در رابطه (۹) آورده شده است:

$$\alpha_2 > \frac{\pi}{2} \quad \text{و} \quad \alpha_1 \leq \frac{\pi}{2} \quad (9)$$

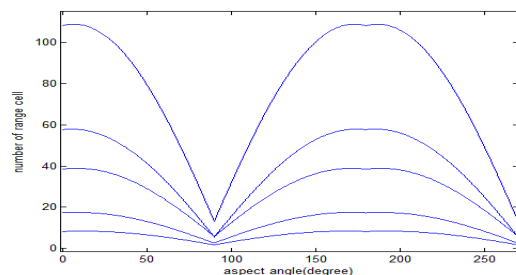
$$\alpha_1 \geq \frac{\pi}{2} \quad \text{و} \quad \alpha_2 < \frac{\pi}{2}$$

برای این‌که تمام حالات مربوط به قرار گرفتن شناور در مقابل رادار شماره‌ی یک، با توجه به فرض متقارن بودن شناور در نظر گرفته شود، محدوده تغییرات احتمالی θ_1 (زاویه‌ی دید هدف از نظر رادار شماره یک) از صفر تا π در نظر گرفته می‌شود. با توجه به محدوده θ_1 می‌توان متوجه شد که محدوده تغییرات θ_2 (زاویه‌ی دید هدف از نظر رادار شماره دو) از صفر تا $3\pi/2$ می‌باشد. همچنین با توجه به محدوده در نظر گرفته شده برای زوایای α_1 و α_2 ، می‌توان اثبات کرد که در این سناریو محدوده تغییرات β از صفر تا $\pi/2$ می‌باشد. یک فرض دیگر نیز در هر دو سناریو وجود دارد که در رابطه (۱۰) آورده شده است:

$$\theta_2 > \theta_1 \quad (10)$$

فرض فوق بدین دلیل می‌باشد که رادار سمت چپ همواره به‌عنوان رادار شماره یک و رادار سمت راست به‌عنوان رادار شماره دو در نظر گرفته می‌شود.

اگر فرض شود که شرط سناریوی اول یکی از موارد مربوط به رابطه (۹) محقق شده باشد، فضای ویژگی به صورت شکل (۹) می‌باشد:



شکل ۹- فضای ویژگی مربوط به سناریوی اول تا زاویه ۲۷۰ درجه

$n_2 > n_1$ & $\theta_2 > \theta_1$ تعداد حالات ممکن از ۲۴ به ۱۶ تقلیل می‌یابند. همچنین با اعمال شرط $\beta < 90$ حالات ممکن از ۱۶ به ۸ حالت تقلیل می‌یابند.

با توجه به مطالب بیان‌شده و شرایط موجود در این سناریو، حالات ممکن در این سناریو به صورت رابطه (۱۴) می‌باشند:

$$(14) \quad (\theta_{11}, \theta_{21}), (\theta_{11}, \theta_{22}), (\theta_{13}, \theta_{23}), (\theta_{13}, \theta_{24}),$$

$$(\theta_{13}, \theta_{25}), (\theta_{13}, \theta_{26}), (\theta_{14}, \theta_{25}), (\theta_{14}, \theta_{26})$$

در رابطه (۱۴) هر جفت زاویه معرفی شده بدین معنا می‌باشد که زوایای دید هدف از منظر هر دو رادار، می‌تواند یکی از حالات هشت‌گانه فوق باشد؛ بنابراین با انجام عملیات‌های فوق، موفق به استخراج ویژگی‌های ممکن در شناخت هدف شده‌ایم که در گام بعد باید به انتخاب ویژگی بهینه اقدام نمود.

۲-۱-۵- سناریوی اول قسمت دوم

شرایط به وجود آورنده این سناریو به قرار ذیل می‌باشد:

$$(15) \quad n_1 > n_2 > n_0$$

همانند قسمت اول و اعمال شرایط مربوط به سناریوی اول، هشت حالت نهایی ایجاد می‌شوند که در رابطه (۱۶) آورده شده است:

$$(16) \quad (\theta_{11}, \theta_{22}), (\theta_{12}, \theta_{22}), (\theta_{13}, \theta_{24}), (\theta_{13}, \theta_{25}),$$

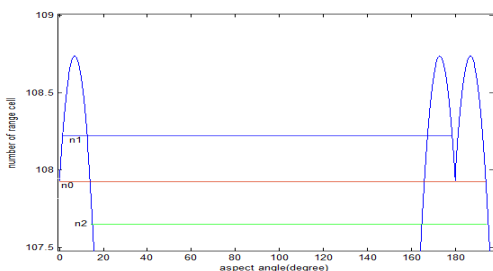
$$(\theta_{13}, \theta_{26}), (\theta_{14}, \theta_{24}), (\theta_{14}, \theta_{25}), (\theta_{14}, \theta_{26})$$

به همین ترتیب می‌توان قسمت‌های دیگری در سناریوی اول تعریف کرد که به قرار ذیل می‌باشند.

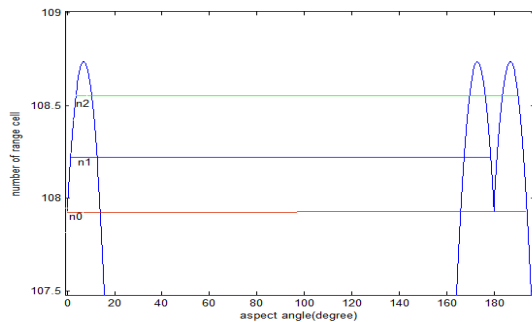
۳-۱-۵- سناریوی اول قسمت سوم

شرایط به وجود آورنده این قسمت به صورت رابطه (۱۷) می‌باشد.

$$(17) \quad n_1 > n_0 \text{ \& \ } n_2 < n_0$$



شکل ۱۱- سناریوی اول قسمت سوم: تعداد سلول‌های فاصله مشاهده‌شده از رادار اول بیشتر از n_0 ، اما مشاهده‌شده از رادار دوم کمتر از n_0 می‌باشد.



شکل ۱۰- بزرگ‌شده قله‌های مربوط به قسمت بالای نمودار شکل (۹)

در شکل (۱۰) مقدار n_0 برابر با تعداد سلول‌های فاصله مربوط به زاویه دید صفر درجه، یا دید در راستای طول هدف می‌باشد. مقدار n_1 برابر با تعداد سلول‌های فاصله مربوط به نمایه برد آشکارشده در رادار شماره یک و مقدار n_2 برابر با تعداد سلول‌های فاصله مربوط به نمایه برد آشکارشده در رادار شماره دو می‌باشد. سناریوی اول خود به شش قسمت اصلی تقسیم می‌شود که عبارتند از:

۱-۱-۵- سناریوی اول قسمت اول

شرایط به وجود آورنده این قسمت از سناریو به صورت ذیل می‌باشد:

$$(11) \quad n_2 > n_1 > n_0$$

همان‌گونه که در شکل (۷) مشاهده می‌شود برای هر هدف، ۶ زاویه احتمالی وجود دارد که می‌تواند این تعداد سلول‌های فاصله را در نمایه برد در رادار شماره دو ایجاد نماید. همچنین به دلیل آنکه زاویه دید هدف در رادار شماره یک، از صفر تا ۱۸۰ درجه تعیین شده است، بنابراین چهار زاویه احتمالی وجود دارد که می‌تواند این تعداد سلول‌های فاصله (n_1) را در نمایه برد ایجاد نماید. زوایای دید احتمالی مربوط به رادارهای شماره یک و دو را به ترتیب در روابط (۱۲) و (۱۳) می‌توان در نظر گرفت.

$$(12) \quad \theta_1 \Rightarrow \theta_{11}, \theta_{12}, \theta_{13}, \theta_{14}$$

$$(13) \quad \theta_2 \Rightarrow \theta_{21}, \theta_{22}, \theta_{23}, \theta_{24}, \theta_{25}, \theta_{26}$$

در روابط فوق پارامترهای θ_{1n} و θ_{2n} ، به ترتیب به معنای n امین برخورد خط n_1 با نمودار ایجاد شده و n امین برخورد خط n_2 با نمودار حاصل می‌باشد.

در کل در این سناریو ۲۴ حالت متفاوت احتمالی وجود دارد که می‌تواند شرایط مربوط به این سناریو را برآورده سازد. با در نظر گرفتن شرط‌های

حالت‌های ممکن برای این سناریو به شش حالت تقلیل می‌یابند که به قرار رابطه (۱۸) می‌باشند.

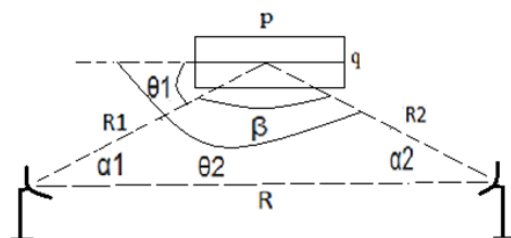
$$(18) \quad (\theta_{11}, \theta_{21}), (\theta_{11}, \theta_{22}), (\theta_{12}, \theta_{21}), (\theta_{12}, \theta_{22}), (\theta_{13}, \theta_{23}), (\theta_{14}, \theta_{23})$$

همان‌گونه که در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود، در این سناریو چهار زاویه احتمالی برای رادار شماره یک و سه زاویه احتمالی برای رادار شماره دو وجود دارد که در مجموع دوازده حالت ممکن را ایجاد می‌نمایند. با اعمال شرط $\theta_{22} > \theta_{11}$ تعداد حالات ممکن به هشت حالت تقلیل می‌یابد و در نهایت با اعمال شرط $\beta < 90$ ، تعداد

جدول ۲- شرایط و حالات مربوط به سناریوی اول

حالات معتبر	تعداد حالات معتبر	تعداد حالات ممکن	شرایط خاص بر استخراج ویژگی	عنوان زیر سناریو	شرایط اختصاصی	شرایط به وجود آورنده سناریو	تعریف سناریو	شماره سناریو
$(\theta_{11}, \theta_{21}), (\theta_{11}, \theta_{22}), (\theta_{13}, \theta_{23}), (\theta_{13}, \theta_{24}), (\theta_{13}, \theta_{25}), (\theta_{13}, \theta_{26}), (\theta_{14}, \theta_{25}), (\theta_{14}, \theta_{26})$	۸	۲۴	$n_1 > n_0$ $n_2 > n_0$ $n_2 > n_1$	قسمت اول	$\theta_{22} > \theta_{11} \text{ \& } \beta < 90 \text{ \& } 0 < \theta_1 < 180 \text{ \& } 0 < \theta_2 < 270$	$\alpha_1 > 90 \text{ \& } \alpha_2 < 90$ OR $\alpha_1 < 90 \text{ \& } \alpha_2 > 90$	هدف در سمت راست یا چپ هر دو رادار قرار دارد	سناریوی اول
$(\theta_{11}, \theta_{22}), (\theta_{12}, \theta_{22}), (\theta_{13}, \theta_{24}), (\theta_{13}, \theta_{25}), (\theta_{13}, \theta_{26}), (\theta_{14}, \theta_{24}), (\theta_{14}, \theta_{25}), (\theta_{14}, \theta_{26})$	۸	۲۴	$n_1 > n_0$ $n_2 > n_0$ $n_2 < n_1$	قسمت دوم				
$(\theta_{11}, \theta_{21}), (\theta_{11}, \theta_{22}), (\theta_{12}, \theta_{21}), (\theta_{12}, \theta_{22}), (\theta_{13}, \theta_{23}), (\theta_{14}, \theta_{23})$	۶	۱۲	$n_1 > n_0$ $n_2 < n_0$	قسمت سوم				
$(\theta_{11}, \theta_{23}), (\theta_{11}, \theta_{24}), (\theta_{11}, \theta_{25}), (\theta_{12}, \theta_{23}), (\theta_{12}, \theta_{24}), (\theta_{12}, \theta_{25}), (\theta_{12}, \theta_{26})$	۷	۱۶	$n_1 < n_0$ $n_2 > n_0$	قسمت چهارم				
$(\theta_{11}, \theta_{21}), (\theta_{11}, \theta_{22}), (\theta_{12}, \theta_{23})$	۳	۶	$n_1 < n_0$ $n_2 < n_0$ $n_2 < n_1$	قسمت پنجم				
$(\theta_{11}, \theta_{22}), (\theta_{12}, \theta_{22}), (\theta_{12}, \theta_{23})$	۳	۶	$n_1 < n_0$ $n_2 < n_0$ $n_2 > n_1$	قسمت ششم				

دید از صفر تا ۳۶۰ درجه قابل تغییر خواهد بود. شکل (۱۲) چگونگی این سناریو را نمایش می‌دهد.



شکل ۱۲- سناریوی دوم: هدف در بین دو رادار قرار گرفته است.

شرایط به وجود آورنده سناریوی دوم به قرار رابطه (۱۹) می‌باشد.

$$(19) \quad \alpha_1 < 90 \text{ \& } \alpha_2 < 90$$

با توجه به مطالب بیان‌شده، فضای ویژگی به صورت

شکل (۱۳) می‌باشد:

تمامی حالات موجود برای سناریوی اول را می‌توان به همین ترتیب در نظر گرفت و در قالب جدول (۲) به نمایش درآورد. منظور از θ_{1n} مقدار زاویه‌ای است که از n امین محل برخورد خط $n=n_1$ با فضای ویژگی حاصل می‌شود. به‌عنوان مثال θ_{11} ، اولین محل برخورد خط $n=n_1$ با فضای ویژگی می‌باشد. به همین ترتیب منظور از θ_{2n} مقدار زاویه‌ای است که از n امین محل برخورد خط $n=n_2$ با فضای ویژگی حاصل می‌شود. به‌عنوان مثال θ_{21} ، اولین محل برخورد خط $n=n_2$ با فضای ویژگی می‌باشد.

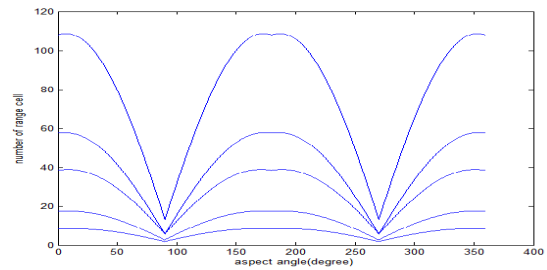
۲-۵- سناریوی دوم

در این سناریو فرض می‌شود که هدف در بین دو رادار قرار گرفته است. از دید رادار یک، زاویه دید هدف از صفر تا ۱۸۰ درجه تغییر می‌کند، اما از دید رادار دوم، زاویه

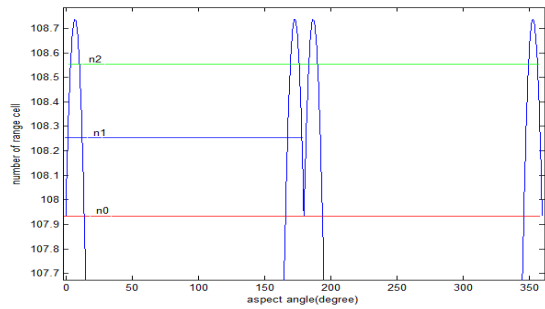
همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شد، در شکل (۱۴) مقدار n_0 برابر با تعداد سلول‌های فاصله مربوط به زاویه دید صفر درجه یا دید در راستای طول هدف می‌باشد. مقدار n_1 برابر با تعداد سلول‌های فاصله مربوط به نمایه برد آشکارشده در رادار شماره یک و مقدار n_2 برابر با تعداد سلول‌های فاصله مربوط به نمایه برد آشکارشده در رادار شماره دو می‌باشد.

سناریوی دوم نیز همانند سناریوی اول به شش قسمت اصلی تقسیم می‌شود. توضیحات سناریوی دوم نیز شبیه به سناریوی اول می‌باشد که تمامی این شش قسمت در قالب جدول (۳) بیان می‌شود.

جدول (۲) و جدول (۳) زوایای دید احتمالی که هدف در دو رادار دیده می‌شود را از فضای ویژگی استخراج کرده تا در مرحله بعد، امکان پردازش و تشخیص کلاس هدف مهیا شود.



شکل ۱۳- فضای ویژگی مربوط به سناریوی دوم تا زاویه ۳۶۰ درجه



شکل ۱۴- بزرگ‌شده قله‌های موجود در قسمت بالای شکل (۱۳)

جدول ۳- شرایط و حالات مربوط به سناریوی دوم

حالات معتبر	تعداد حالات معتبر	تعداد حالات ممکن	شرایط حاکم بر استخراج ویژگی	عنوان زیر سناریو	شرایط اختصاصی ایجاد شده	شرایط به وجود آورنده سناریو	تعریف سناریو	شماره سناریو
$(\theta_{11}, \theta_{21}) \cdot (\theta_{11}, \theta_{22}), (\theta_{11}, \theta_{23}), (\theta_{11}, \theta_{24}), (\theta_{11}, \theta_{25}), (\theta_{11}, \theta_{26}), (\theta_{11}, \theta_{26}), (\theta_{12}, \theta_{23}), (\theta_{12}, \theta_{24}), (\theta_{12}, \theta_{25}), (\theta_{12}, \theta_{26}), (\theta_{13}, \theta_{23}), (\theta_{13}, \theta_{24}), (\theta_{13}, \theta_{25}), (\theta_{13}, \theta_{26}), (\theta_{13}, \theta_{27}), (\theta_{13}, \theta_{27}), (\theta_{13}, \theta_{28}), (\theta_{14}, \theta_{25}), (\theta_{14}, \theta_{26}), (\theta_{14}, \theta_{27}), (\theta_{14}, \theta_{28})$	۲۰	۳۲	$n_1 > n_0$ $n_2 > n_0$ $n_2 > n_1$	۲-۱	$02 > \theta_1 & \beta < 180 \Rightarrow 0 < \theta_1 < 180 & 0 < \theta_2 < 360$	$\alpha_1 < 90 \quad \& \quad \alpha_2 < 90$	هدف در بین دو رادار قرار دارد	سناریوی دوم
$(\theta_{11}, \theta_{22}), (\theta_{11}, \theta_{23}), (\theta_{11}, \theta_{24}), (\theta_{11}, \theta_{25}), (\theta_{11}, \theta_{26}), (\theta_{12}, \theta_{22}), (\theta_{12}, \theta_{23}), (\theta_{12}, \theta_{24}), (\theta_{12}, \theta_{25}), (\theta_{12}, \theta_{26}), (\theta_{13}, \theta_{24}), (\theta_{13}, \theta_{25}), (\theta_{13}, \theta_{26}), (\theta_{13}, \theta_{27}), (\theta_{13}, \theta_{28}), (\theta_{14}, \theta_{24}), (\theta_{14}, \theta_{25}), (\theta_{14}, \theta_{26}), (\theta_{14}, \theta_{27}), (\theta_{14}, \theta_{28})$	۲۰	۳۲	$n_1 > n_0$ $n_2 > n_0$ $n_2 < n_1$	۲-۲				
$(\theta_{11}, \theta_{21}), (\theta_{11}, \theta_{22}), (\theta_{11}, \theta_{23}), (\theta_{12}, \theta_{21}), (\theta_{12}, \theta_{22}), (\theta_{12}, \theta_{23}), (\theta_{13}, \theta_{23}), (\theta_{13}, \theta_{24}), (\theta_{14}, \theta_{23}), (\theta_{14}, \theta_{24})$	۱۰	۱۶	$n_1 > n_0$ $n_2 < n_0$	۲-۳				
$(\theta_{11}, \theta_{23}), (\theta_{11}, \theta_{24}), (\theta_{11}, \theta_{25}), (\theta_{11}, \theta_{26}), (\theta_{11}, \theta_{27}), (\theta_{12}, \theta_{23}), (\theta_{12}, \theta_{24}), (\theta_{12}, \theta_{25}), (\theta_{12}, \theta_{26}), (\theta_{12}, \theta_{27})$	۱۰	۱۶	$n_1 < n_0$ $n_2 > n_0$	۲-۴				
$(\theta_{11}, \theta_{21}), (\theta_{11}, \theta_{22}), (\theta_{11}, \theta_{23}), (\theta_{11}, \theta_{24}), (\theta_{12}, \theta_{23}), (\theta_{12}, \theta_{24})$	۶	۸	$n_1 < n_0$ $n_2 < n_0$ $n_2 < n_1$	۲-۵				
$(\theta_{11}, \theta_{22}), (\theta_{11}, \theta_{23}), (\theta_{11}, \theta_{24}), (\theta_{12}, \theta_{22}), (\theta_{12}, \theta_{23}), (\theta_{12}, \theta_{24})$	۶	۸	$n_1 < n_0$ $n_2 < n_0$ $n_2 > n_1$	۲-۶				

در این مرحله با استفاده از این واقعیت که $\beta = \theta_2 - \theta_1$ می‌باشد، می‌توان اقدام به شناسایی

۳-۵- پردازش ویژگی‌های استخراج‌شده و تعیین کلاس هدف

هدف کرد. بدین ترتیب که در ابتدا به تشخیص نوع سناریو پرداخته و با توجه به شرایط (۹) و (۱۹) می‌توان معین نمود که کدام سناریو اتفاق افتاده است. سپس از قسمت آشکارساز رادارها، به تعیین مقادیر n_1 و n_2 پرداخته و در مرحله بعد با توجه به جداول (۲) و (۳)، شرایط حاکم بر استخراج ویژگی را معین کرده و عنوان زیر سناریو تعیین می‌شود. پس از تعیین عنوان زیر سناریو، حالات معتبر برای این زیر سناریو، برای تک‌تک کلاس‌های هدف که در فضای ویژگی شکل (۹) و شکل (۱۳) به آن‌ها پرداخته شده است به دست آورده می‌شود. در نهایت هر کدام از اهداف در نظر گرفته شده که بتواند رابطه (۲۱) را کمینه کند به عنوان هدف اصلی شناسایی و معرفی می‌شود.

$$\beta' = \theta_2' - \theta_1' \quad (20)$$

$$e = |\beta - \beta'| \quad (21)$$

θ_1' : زاویه دید هدف، تخمین زده شده مربوط به رادار شماره یک

$$\theta_1' \in \{\theta_{11}, \theta_{12}, \theta_{13}, \theta_{14}\}$$

θ_2' : زاویه دید هدف، تخمین زده شده مربوط به رادار شماره دو

$$\theta_2' \in \{\theta_{21}, \theta_{22}, \theta_{23}, \theta_{24}, \theta_{25}, \theta_{26}, \theta_{27}, \theta_{28}\}$$

β' : زاویه تخمین زده شده بین دو رادار نسبت به هدف
 e : خطای بین زاویه تخمینی رادار نسبت به دو هدف با زاویه واقعی بین دو رادار نسبت به هدف

همان‌گونه که بیان شد، پس از تعیین مقدار زاویه دید هدف و با توجه به تعداد سلول‌های فاصله آشکار شده در نمایه برد هدف، کلاس هدف شناخته شده و بدین ترتیب کار دسته‌بندی اهداف با استفاده از دو رادار مشابه با قدرت تفکیک بالا به پایان می‌رسد.

نکات مهم

۱- در برخی حالات، ممکن است که دو مجموعه زاویه (θ_1, θ_2) مقادیر مینیمم مساوی ایجاد نمایند که در این صورت دو دسته از اهداف به عنوان کلاس هدف شناخته می‌شوند. چون مخصوصاً زمانی که n_1 یا n_2 بزرگ‌تر از n_0 باشند، دو β' وجود دارد که به β نزدیک‌ترند. در این حالت به دلیل آنکه زوایای دید احتمالی معلوم شده‌اند،

برای سنجش دقیق زاویه هدف، می‌توان از شکل نمایه ذخیره شده در این زوایا استفاده کرد و با استفاده از فیلتر منطبق اقدام به شناسایی هدف نمود.

۲- در روش‌هایی که با استفاده از فیلتر منطبق اقدام به دسته‌بندی اهداف می‌نمایند، نمایه برد به دست آمده از هدف را با کل بانک داده مربوط به نمایه‌های برد، مقایسه کرده و بدین ترتیب شبیه‌ترین نمایه موجود در بانک داده را انتخاب کرده و در نهایت کلاس هدف را معین می‌نمایند. این کار مستلزم بار محاسباتی بسیار بالایی برای رادار و گرفتن زمان نسبتاً طولانی از رادار می‌باشد. در این‌گونه موارد برای کاهش بار محاسباتی، اقدام به کاهش امان‌های موجود در بانک داده می‌نمایند تا بتوان سرعت انتخاب نمونه مشابه را بالا ببرند. در این حالت به‌طور قطع از کیفیت دسته‌بندی کاسته خواهد شد.

در الگوریتم پیشنهادی، در صورتی که ابهام در انتخاب کلاس هدف بین دو یا چند کلاس به وجود آید، به دلیل آنکه زاویه دید هدف مشخص شده است، بجای تطبیق نمایه برد به دست آمده از هدف با کل بانک داده، تنها باید نمایه برد مربوط به همان زاویه دید هدف را با نمایه به دست آمده مقایسه کرد و بنابراین نیازی به مقایسه تمام بانک داده با نمونه به دست آمده نیست. بدین ترتیب بدون آنکه از کیفیت تشکیل بانک داده کاسته شده باشد، بار محاسباتی الگوریتم به شدت کاهش یافته است.

۳- با دقت در نوع عملکرد الگوریتم پیشنهادی معلوم می‌شود که هر هدفی دارای یک فضای ویژگی خاص می‌باشد که می‌توان با استفاده از مقدار طول و عرض آن هدف و اعمال این الگوریتم به آن، اقدام به تشخیص کلاس هدف نمود.

۶- کاهش بار محاسباتی الگوریتم

با توجه به روش شناسایی هدف توسط الگوریتم تقریب مستطیلی و مبنا قرار دادن تعداد سلول‌های فاصله موجود در نمایه برد آشکار شده توسط دو رادار، نیازی به بانک داده‌ی وسیع نیست. می‌توان محاسبه کرد که با چه تغییر زاویه‌ای، تعداد سلول‌های فاصله حداقل به اندازه یک واحد تغییر خواهند کرد و بدین ترتیب مقدار گام تغییرات θ برای تشکیل بانک نمایه برد و تعداد سلول‌های فاصله مشخص می‌گردد. در این صورت برای زوایای θ که در محدوده صفر تا ۹۰ درجه قرار دارند، مقدار گام را

محاسبه کرده و به دلیل تقارن موجود می‌توان برای بقیه زوایا نیز به همین‌گونه عمل کرد.

۶-۱- محدوده زاویه دید $0 < \theta < \varphi$

در این محدوده، با افزایش θ از صفر تا φ ، مقدار طول مؤثر هدف که در مقابل پرتوی تابشی رادار قرار می‌گیرد افزایش می‌یابد؛ بنابراین گام موردنیاز برای تشکیل بانک داده به میزانی خواهد بود که مقدار n حداقل یک واحد افزایش یابد. بدین معنا که به اندازه چه $\Delta\theta$ ی، مقدار n یک واحد اضافه می‌شود.

$$\begin{aligned} \theta_a \rightarrow \theta_{a+1} &\Rightarrow n_{a+1} = n_a + 1 \\ \Rightarrow n_a &= \left\lceil \frac{2d \cos(\theta_a - \varphi)}{c\tau} \right\rceil + 1 \end{aligned} \quad (22)$$

در رابطه (۲۲) علامت [] به معنای گرفتن جزء صحیح می‌باشد.

$$\text{If } n_{a+1} = n_a + 1 \Rightarrow \theta_{a+1} = ?$$

اگر از گرفتن جزء صحیح صرف‌نظر کنیم، می‌توان معادلات را به صورت زیر ادامه داد.

$$\begin{aligned} n_a &= \frac{2d \cos(\theta_a - \varphi)}{c\tau} \Rightarrow \theta_a = \cos^{-1}\left(\frac{c\tau n_a}{2d}\right) + \varphi \\ n_{a+1} &= \frac{2d \cos(\theta_{a+1})}{c\tau} \quad \& \quad n_{a+1} = n_a + 1 \Rightarrow \theta_{a+1} = \cos^{-1}\left(\frac{c\tau n_{a+1}}{2d}\right) + \varphi \\ &\Rightarrow \theta_{a+1} = \cos^{-1}\left(\frac{c\tau(n_a + 1)}{2d}\right) + \varphi \\ \Delta\theta &= \theta_{a+1} - \theta_a = \cos^{-1}\left(\frac{c\tau(n_a + 1)}{2d}\right) - \cos^{-1}\left(\frac{c\tau n_a}{2d}\right) \end{aligned}$$

بنابراین در حالت خاص در این محدوده می‌توان $\theta_a = 0$ را در نظر گرفت و معادله را حل کرد. با توجه به رابطه (۲)، رابطه (۲۳) به دست می‌آید:

$$\Delta\theta = \cos^{-1}\left(\frac{2p + c\tau}{2d}\right) \quad (23)$$

نکته: گاهی اوقات بسته به ابعاد هدف و پهنای پالس رادار، ممکن است مقدار داخل پرانتز از ۱ بیشتر شود و معادله جواب نداشته باشد. در این صورت می‌توان با توجه به منبع [۶] مقدار گام‌ها را 0.2 درجه در نظر گرفت.

۶-۲- محدوده زاویه دید $\varphi < \theta < 90$

در این شرایط تعداد سلول‌های فاصله از n_{\max} به n_{\min} تغییر می‌کند؛ بنابراین $\Delta\theta$ ، مقداری است که از

تعداد سلول‌های فاصله، یک واحد کم شود. به همان ترتیب بیان‌شده در قسمت ۴-۲-۵-۱ می‌توان اثبات کرد که:

$$\Delta\theta = \cos^{-1}\left(1 - \frac{1}{n_a}\right) \quad (24)$$

بدین ترتیب و با استفاده از این روابط می‌توان بار محاسباتی برای تشکیل بانک داده را کم کرد. همان‌گونه که در روابط (۲۳) و (۲۴) معلوم است، میزان گام موردنیاز برای تشکیل بانک داده به طول هدف و پهنای پالس رادار وابسته است. این امر نشان می‌دهد که میزان کاهش بار محاسباتی نیز به این دو پارامتر اصلی وابسته است.

یکی از موارد مهم در سیستم‌های راداری، دسته‌بندی اهداف می‌باشد که رادار با قدرت تفکیک بالا قادر به انجام این کار می‌باشد. از مزایای مهم هر طرح برای شناسایی و دسته‌بندی اهداف، سادگی و کم بودن بار محاسباتی آن می‌باشد. این مزیت‌ها در طرح پیشنهادی استفاده از تقریب مستطیلی که می‌توان آن را در اهداف دریایی بکار برد، وجود دارد. یکی از موارد موجود در این طرح وابستگی شدید آن به قسمت آشکارسازی نمایه‌ی برد می‌باشد که هرچه کار آشکارسازی با دقت بالاتری انجام گیرد نتیجه دسته‌بندی با کیفیت بهتری به دست خواهد آمد. در نهایت برای هرچه بهتر انجام شدن این روش، پیشنهاد می‌گردد که از تلفیق این روش با فیلتر منطبق استفاده گردد تا کیفیت کار بالاتر رود. قابل ذکر است که در مقاله [۲] روش دیگری که تلفیقی از روش تقریب مستطیلی و شبکه عصبی می‌باشد، ارائه شده است.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله به دست آمد که در صورت استفاده از طول نمایه برد به‌عنوان ویژگی هدف جهت دسته‌بندی اهداف دریایی، نمی‌توان تنها به‌وسیله یک رادار، موفق به دسته‌بندی اهداف شد و حداقل باید از دو رادار استفاده کرده و با تحلیل همزمان اطلاعات مربوط به سیگنال‌های برگشتی از یک هدف اما در دو زاویه دید متفاوت، اقدام به دسته‌بندی اهداف نمود.

الگوریتم ارائه‌شده در این مقاله که عنوان تقریب مستطیلی برای آن انتخاب شد، نشان می‌دهد که می‌توان با تقریب شکل فیزیکی یک هدف دریایی به‌صورت یک مستطیل محیطی (مستطیلی که کل هدف را می‌توان در

آن قرار داد، داده‌های بسیار ارزشمندی را در خصوص طول نمایه‌ی برد اهداف دریایی در زوایای دید متفاوت به‌دست آورد. نتیجه بسیار مهم از ارائه الگوریتم تقریب مستطیلی و استفاده از حداقل دو رادار با قدرت تفکیک بالا این است که می‌توان با در نظر گرفتن خروجی حاصل از این الگوریتم و تطبیق آن با جداول به‌دست‌آمده، فرصتی بسیار مناسب برای دسته‌بندی اهداف دریایی و همچنین تخمین زاویه دید هدف به‌دست آورد. خصوصیت مهم این الگوریتم، پرهیز از روابط پیچیده و سنگین در محاسبات مربوط به دسته‌بندی می‌باشد.

مراجع

1. Tait, P., Introduction to radar target recognition, 2nd edition, IET radar, sonar and navigation series,
2. Skolnik, M. I., Introduction to Radar Systems, 2nd ed., McGraw-Hill, Singapore, 1980
۳. دهقانی، ع. (۱۳۹۷)، «ارائه الگوریتم جدید دسته‌بندی اهداف دریایی در رادارهای با قدرت تفکیک بالا با استفاده از شبیه‌سازی»، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران
4. L. Min, et al. "Sparse representation denoising for radar high resolution range profiling." International Journal of Antennas and Propagation, 2014.
5. R. Burkholder, M. Pino and F. obelleiro, "Low Angle Scattering From 2-D Targets on a Time-Evolving Sea Surface" IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 2002
6. R. zhang, X. wei, et al. "Analysis about the speckle of radar high resolution range profile", Sci China Tech Sci, Vol.54, pp. 226-236, 2011

الگوی نگارش مقاله در دوفصلنامه «مهندسی شناورهای تندرو»

نام و نام خانوادگی نویسنده

سازمان متبوع نویسنده، Author@Email

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:

مجرا شده با ویرگول، با قلم BNazanin-11 برای نوشتار فارسی و با قلم Times New Roman-10 برای لغات انگلیسی.

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.

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 2007 یا Word 2003 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.

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.

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 و PDF تهیه و ارسال شود.

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

۳- حاشیه‌ها

[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.

[4] 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، $A \text{ m}^2$

چگالی، $\rho \text{ kg/m}^3$

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.