فناوری‌های کلیدی و پیش‌بینی روندهای آینده در شناورهای تندرو

فرهاد کیانی فلاورجانی

دانشجوی دکترا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر؛ aerospace1362@gmail.com

چکیده:

هدف از این پژوهش، ترسیم، تحلیل و شناسایی فناوری‌های کلیدی در حوزه شناورهای تندرو است. این پژوهش با استفاده از داده‌های استخراج شده از پایگاه‌های علمی وب‌آف‌ساینس در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴، یک شبکه هم‌رخدادی کلمات کلیدی مرتبط با حوزه شناورهای تندرو را بصری‌سازی و تحلیل نموده است. تحلیل عمیق این نقشه‌ها بر اساس مجموعه‌ای از سوالات هدفمند انجام پذیرفت. این سوالات با هدف رمزگشایی از اطلاعات غنی نهفته در عناصر بصری شکل‌ها طراحی شدند؛ نتایج حاصل از تحلیل نشان داد که حوزه پژوهشی مرتبط با شناورهای تندرو چندوجهی بوده و حول مفاهیم کلیدی نظیر هیدرودینامیک (که برای کاهش مقاومت و دستیابی به سرعت بالا حیاتی است)، عملکرد (تاثیر ضربه ناشی از حرکت در سرعت بالا)، مدیریت و طراحی متمرکز است. ساختار حوزه شامل زیرشاخه‌های اصلی مرتبط با هیدرودینامیک و شبیه‌سازی‌هایCFD ، عملکرد سازه‌ای و مقابله با پدیده‌هایی مانند کوبش و خستگی و جنبه‌های عملیاتی و مدیریتی، علاوه بر جنبه‌های فنی محوری تحلیل نشان داد که جنبه‌های مدیریتی شامل مدیریت عملیات و ناوگان، مدیریت ریسک و ایمنی (ناشی از الزامات سرعت بالا)، ملاحظات زیست‌محیطی (به ویژه آلودگی صوتی) نیز از موضوعات مهم و مرتبط با شناورهای تندرو هستند که نشان‌دهنده گستردگی پژوهش‌ها در این حوزه فراتر از طراحی صرف است. تحلیل زمانی نشان‌دهنده تحولاتی در تمرکز پژوهش‌ها بوده، به طوری که در کنار موضوعات با سابقه بیشتر در حوزه هیدرودینامیک، مفاهیم جدیدتر و در حال ظهور مانند هوش مصنوعی (در کنترل یا بهینه‌سازی)، ردیابی هدف نیز در حال کسب اهمیت در ارتباط با این حوزه هستند. نقشه‌های چگالی نیز به وضوح کانون‌های اصلی فعالیت پژوهشی را در زمینه‌های هیدرودینامیک CFD و عملکرد و ضربه، به عنوان متمرکزترین بخش‌های این حوزه، تأیید کردند.

واژه‌های کلیدی:

تحلیل هم‌رخدادی، نقش دانش، فناوری داغ پژوهش، شناور تندرو، هیدرودینامیک، CFD، عملکرد، ضربه

Key technologies and forecasting future trends in high-speed vessels

Frahad Kiani Falavarjani

Malek Ashtar University of Technology; aerospace1362@gmail.com

Absrtact

the links revealed the nature and strength of the relationships between the keywords, the colored clusters in the network map identified the thematic structure and main subfields of the field, and finally, the technology density map highlighted the focus of research activity in the field of high-speed vessels. The results of the analysis showed that the research area related to high-speed vessels is multifaceted and focuses on key concepts such as hydrodynamics (which is crucial for reducing resistance and achieving high speed), performance (impact of high-speed movement), management, and design. The structure of the field includes the main sub-fields related to hydrodynamics and CFD simulations, structural performance and dealing with phenomena such as pounding and fatigue, and operational and management aspects (in addition to the core technical aspects, the analysis showed that management aspects including operations and fleet management, risk and safety management (arising from high speed requirements), and environmental considerations (especially noise pollution) are also important and relevant topics for high-speed vessels, indicating the breadth of research in this field beyond mere design. The temporal analysis shows changes in the focus of research, so that alongside more established topics in the field of hydrodynamics, newer and emerging concepts such as artificial intelligence (in control or optimization), target tracking are also gaining importance in relation to this field. The density maps also clearly confirmed the main foci of research activity in the fields of hydrodynamics/CFD and performance/impact, as the most concentrated parts of this field.

Keywords:

Co-occurrence analysis, role of knowledge, hot research technology, high-speed vessel, hydrodynamics, CFD, performance, impact,

۱. مقدمه

شناورهای تندرو[1] به عنوان یکی از مهم‌ترین ابزارهای جنگ دریایی، به دلیل سرعت بالا، چابکی و توانایی حمل تسلیحات پیشرفته، نقش کلیدی در عملیات‌های دریایی ایفا می‌کنند. شناورهای تندرو، کشتی‌های کوچک و سریعی هستند که برای عملیات در مناطق ساحلی[2] طراحی شده‌اند[1]. این شناورها با توانایی حمله به کشتی‌های بزرگ‌تر و دفاع از مرزهای آبی، در جنگ‌های غیرقراردادی و دفاع ساحلی اهمیت ویژه‌ای دارند. پیشرفت‌های اخیر در فناوری‌های مرزدانشی، مانند سیستم‌های خودمختار و مواد ترکیبی، این شناورها را به ابزارهای پیشرفته‌تری تبدیل کرده است. این مقاله مروری جامع بر وضعیت فناوری‌ها، نوآوری‌های اخیر، چالش‌ها و جهت‌گیری‌های آینده در حوزه شناورهای تندرو ارائه می‌دهد. افزایش سرعت عملیاتی، نیاز به کاهش مصرف سوخت و بهبود امنیت ناوبری، از جمله عواملی هستند که موجبات ورود فناوری‌های نوین به بستر سیستم‌های دریایی را فراهم نموده‌اند[2]. در این میان، مطالعات متعددی از جنبه‌های مختلف فناوری‌های ناوبری خودران، پیشرانش، طراحی‌های آیرودینامیکی و بکارگیری فناوری‌های نوین (ارتباطات و اینترنت اشیاء) در شناورهای تندرو صورت گرفته است[3]. در این مقاله، به شیوه‌ای نظام‌مند به مرور ادبیات پژوهشی و تحلیل این فناوری‌ها پرداخته می‌شود تا بتوان چشم‌اندازی جامع از روندهای آینده در این حوزه ارائه نمود.

۲. تاریخچه توسعه شناورهای تندرو

توسعه شناورهای تندرو به اوایل قرن نوزدهم میلادی بازمی‌گردد؛ زمانی که نخستین قایق‌های اژدر افکن[3] با هدف ایجاد برتری تاکتیکی از طریق حملات سریع به کشتی‌های سنگین، طراحی و به کار گرفته شدند. این شناورها که با بهره‌گیری از ابعاد کوچک، سرعت بالا و قدرت مانور مناسب به سمت اهداف خود حرکت می‌کردند؛ در مراحل اولیه موفقیت‌های قابل توجهی کسب کردند[4]. با این وجود، ورود ناوشکن‌های اژدر افکن[4] در اواخر قرن نوزدهم، که به طور خاص برای شکار این قایق‌ها طراحی شده بودند، منجر به کاهش اهمیت عملیاتی آن‌ها شد. در دهه ۱۹۳۰، با پیشرفت فناوری موتورهای احتراق داخلی، قایق‌های اژدر افکن موتوری توسعه یافتند[5]. این شناورها، که عمدتا به موتورهای بنزینی با توان بالا مجهز بودند، با سرعت بیشتر و قدرت آتش مؤثرتر در جنگ جهانی دوم نقش برجسته‌ای ایفاء کردند. کشورهای مختلف نظیر بریتانیا با قایق‌های کلاس واسپر[5] و آلمان نازی با قایق‌های سریع اسچنل بوت[6] این فناوری را به کار گرفتند[6]. مأموریت‌های این قایق‌ها شامل گشت‌زنی، حمله به کاروان‌های دریایی دشمن، مین‌ریزی و عملیات‌های ویژه بود.

با پایان جنگ جهانی دوم و تحول در ماهیت نبردهای دریایی، به ویژه با ظهور موشک‌های هدایت‌شونده ضدکشتی، قایق‌های موشک‌انداز به عنوان جایگزین قایق‌های اژدر افکن وارد عرصه شدند[6,7]. اتحاد جماهیر شوروی در دهه ۱۹۵۰ میلادی، با توسعه شناورهای کلاس کومار (پروژه R۱۸۳ در شوروی) و اوسا نقش پیشگامی در این زمینه ایفاء کرد.

این شناورها که به اثربخشی موشک‌های ضد کشتی P-15ترمیت (SS-N-**2** Styx) مجهز شده بودند، در نبرد لاتف (۱۹۶۷) اثربخشی خود را با غرق کردن ناو اسرائیلی ایلات[7] به اثبات رساندند (در این نبرد، چهار قایق موشک‌انداز کلاس کومار نیروی دریایی مصر، مستقر در بندر پورت سعید، به ناو اسرائیلی ایلات که در حال گشت‌زنی در نزدیکی سواحل شمال سینا بود، حمله کردند). این واقعه نقطه عطفی در تاریخ نبردهای دریایی به شمار می‌رود، زیرا برای نخستین بار از یک شناور کوچک موشک‌انداز جهت نابودی یک کشتی جنگی بزرگ استفاده شد. در دهه‌های بعدی، تحولات فناورانه قابل توجهی در زمینه شناورهای تندرو به وقوع پیوست. استفاده از موتورهای توربین گازی به جای موتورهای دیزلی یا بنزینی، موجب دستیابی به سرعت‌های بالاتر و افزایش تحرک عملیاتی شد[4]. همچنین، بکارگیری بدنه‌های سبک‌وزن از جنس آلیاژهای آلومینیومی و کامپوزیت‌های پلیمری، به بهبود کارایی هیدرودینامیکی و کاهش مصرف سوخت انجامید[8]. توسعه سامانه‌های

[1] Fast Attack Craft - FAC
[2] Littoral Zones
[3] Torpedo Boats
[4] Torpedo Boat Destroyers
[5] Vosper
[6] Schnellboot
[7] Eilat

پیشرفته راداری، سیستم‌های مدیریت نبرد، جنگ الکترونیک، و پدافند موشکی کوتاه‌برد موجب افزایش بقاءپذیری و اثربخشی رزمی این شناورها شد. در عصر معاصر، شناورهای تندرو با ویژگی‌هایی نظیر طراحی پنهانکارانه، سامانه‌های خودکار فرماندهی و کنترل، موشک‌های هدایت‌شونده دوربرد، و قابلیت‌های ارتباطی شبکه‌محور تجهیز شده‌اند[6-8]. این ویژگی‌ها به شناورهای تندرو امکان داده است تا نقش‌های متنوعی از جمله دفاع ساحلی، عملیات‌های ضربتی سریع، مقابله با تهدیدات غیرمتقارن، حفاظت از منابع انرژی دریایی و مشارکت در عملیات‌های ویژه نیروی دریایی را بر عهده گیرند.[6] بدین ترتیب، شناورهای تندرو از یک ابزار تهاجمی ساده به سامانه‌های پیچیده‌ای با قابلیت‌های چندمنظوره ارتقاء یافته‌اند که در استراتژی‌های دفاعی و تهاجمی بسیاری از کشورهای جهان جایگاه ویژه‌ای دارند.

۳. فناوری نوین و موثر در شناورهای تندرو

با توجه به رشد روزافزون فناوری‌های هوشمند، سیستم‌های ناوبری خودران به عنوان یک جزء ضروری در بهبود کارایی شناورهای تندرو مطرح شده‌اند. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد[9] که استفاده از ترکیبی از فناوری‌های مبتنی بر جی‌پی‌اس و الگوریتم‌های هوش مصنوعی منجر به دستیابی به قابلیت‌های تصمیم‌گیری بلادرنگ و افزایش دقت عملکرد سیستم‌های ناوبری شده است. علاوه بر آن، پژوهشگران به بررسی تأثیر موتورهای هیبرید و برقی در کاهش میزان آلاینده‌های محیطی و بهبود بهره‌وری سوخت پرداخته‌اند[10]؛ به طوری که هر دو دسته موتور، با وجود ویژگی‌های متفاوت، شرایط مطلوبی جهت کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش سرعت شناور فراهم می‌آورند. از سوی دیگر، برخی از مطالعات اخیر به بررسی نوآوری‌های موجود در طراحی‌های هیدروفویل و بهبود ویژگی‌های آیرودینامیکی شناورها پرداخته است. پژوهش‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که استفاده از مواد نوین و طراحی‌های بهینه باعث کاهش مقاومت آب و افزایش پایداری شناورها می‌شود[11]. در همین راستا، کاربرد فناوری‌های اینترنت اشیاء که امکان پایش و کنترل بهتر سیستم‌ها را فراهم می‌کنند، به عنوان یک حوزه استراتژیک مورد توجه قرار گرفته است[12]. این فناوری با فراهم آوردن اطلاعات دقیق و لحظه‌ای از وضعیت شناور، می‌تواند زمینه را برای توسعه سیستم‌های هوشمند ناوبری و بهبود تصمیم‌گیری‌های عملیاتی فراهم کند[8], [10], [12]. در این بخش به بررسی فناوری‌های کلیدی که در توسعه شناورهای تندرو نقش بسزایی دارند پرداخته می‌شود.

الف- سیستم‌های ناوبری خودران

سیستم‌های ناوبری خودران مبتنی بر ادغام فناوری‌های جی پی اس و هوش مصنوعی، در بهبود عملکرد شناورها تاثیرات قابل توجهی داشته‌اند [13], [14]. این سیستم‌ها با استفاده از داده‌های بلادرنگ، شرایط محیطی متغیر را تحلیل می‌کنند و می‌توانند به صورت خودکار مسیر بهینه را برای شناور انتخاب نمایند. از مزیت‌های اصلی این فناوری می‌توان به کاهش نیاز به مداخله انسانی، افزایش سطح ایمنی و بهبود سرعت واکنش به شرایط بحرانی اشاره کرد[15]. با این حال، وابستگی به زیرساخت‌های ارتباطی پیشرفته و چالش‌های مربوط به تداخل‌های محیطی از جمله معایب مطرح شده در این حوزه هستند[6], [15].

ب- موتورهای برقی و هیبرید

تحولات اخیر در زمینه موتورهای الکتریکی و هیبرید منجر به ظهور گزینه‌هایی شده است که قادر به کاهش هزینه‌های سوخت و آلاینده‌ها می‌باشند[16]. موتورهای هیبرید به دلیل قابلیت بهره‌گیری از هر دو منبع انرژی فسیلی و برقی، در شرایط مختلف عملکرد بهینه‌تری دارند؛ در حالی که موتورهای برقی دچار صدای کم، نوسانات کمی در عملکرد و آلایندگی صفر می‌شوند. از معایب احتمالی موتورهای برقی می‌توان به محدودیت‌های مربوط به زمان شارژ و برد اشاره نمود که همچنان نیازمند پیشرفت‌های فناوری محسوب می‌شوند[17].

پ- طراحی‌های هیدروفویل و بهینه‌سازی آیرودینامیکی

در طراحی شناورهای تندرو، کاهش مقاومت آب اهمیت ویژه‌ای دارد. استفاده از مواد کم وزن و طراحی‌های بهینه هیدروفویل می‌تواند به کاهش نیروهای ضد حرکات و افزایش پایداری شناور کمک نماید[18]. به علاوه، نمونه‌های موفقی از طراحی‌های نوین، ترکیبی از مطالعات فیزیکی و تحلیلی عددی هستند که به بهبود ویژگی‌های دنیای واقعی منجر شده‌اند[6], [8], [18].

ت- کاربرد فناوری‌های اینترنت اشیاء

فناوری اینترنت اشیاء در حوزه ناوبری و مدیریت سیستم‌های شناور، اجازه می‌دهد تا داده‌های زیستی و عملکردی دستگاه‌ها به‌صورت لحظه‌ای نظارت و کنترل شوند[19]. به کمک این فناوری، می‌توان اشتباهات عملیاتی را سریعا شناسایی و اقدامات اصلاحی لازم را انجام داد. راهکارهای مبتنی بر فناوری اینترنت اشیاء شامل پایش دما، فشار، وضعیت موتور و سایر پارامترهای حیاتی شناورها می‌شود که به بهبود ایمنی و کارایی کلی سیستم کمک می‌کند[21] ,[20].

٤. روش تحقیق

گام ۱: انتخاب پایگاه داده و تعریف کلیدواژه

پایگاه استنادی وب‌آف‌ساینس به منظور مقالات نمایه شده در حوزه شناورهای تندرو انتخاب شده است، که یک منبع معتبر برای دسترسی به مقالات علمی در حوزه‌های مختلف از جمله مهندسی دریایی است.

کلیدواژه high speed boats (شناورهای تندرو) انتخاب شده و در بخش Topic جستجو شده است. این بخش شامل عنوان، چکیده و کلیدواژه‌های مقالات می‌شود. جستجوی اولیه ۷۷۷ مقاله را شناسایی کرده است، که نشان‌دهنده گستردگی موضوع در این پایگاه داده است.

گام ۲: محدود کردن بازه زمانی

برای تمرکز بر فناوری‌های جدید و به‌روز، بازه زمانی سالهای ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۴ میلادی انتخاب شده است. این فیلتر تعداد مقالات را کاهش داده و مقالات مرتبط با این بازه زمانی را معرفی کرده است.

گام ۳: پاک‌سازی و حذف مقالات غیرمرتبط

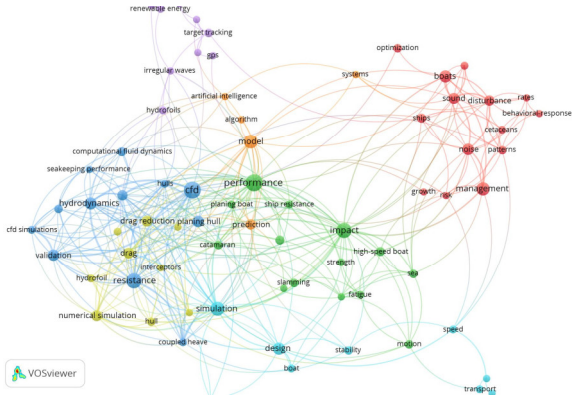
مقالات غیرمرتبط با موضوع شناورهای تندرو (مانند مقالاتی که ممکن است به قایق‌های تفریحی ساده یا موضوعات غیرفناوری اشاره داشته باشند) حذف شده‌اند. پس از پاک‌سازی، تعداد مقالات به ۴۶۲ مورد کاهش یافته است.

گام ۴: استخراج داده‌ها برای تجسم‌سازی

داده‌های ۴۶۲ مقاله از پایگاه استنادی وب‌آف‌ساینس استخراج شده‌اند. این داده‌ها معمولاً شامل اطلاعاتی مانند عنوان، چکیده، کلیدواژه‌ها، نویسندگان، سال انتشار و استنادها هستند. داده به نرم افزار مصورسازی وس‌ویور ارسال و خروجی از دیدگاه روند فناوری تحلیل و ارزیابی شده‌اند.داده‌های استخراج شده از پایگاه وب‌آف‌ساینس به نرم‌افزار وس‌ویور ارسال و از دیدگاه روند فناوری مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته‌اند. وس‌ویور یک نرم‌افزار مبتنی بر جاوا است که به طور خاص برای ساخت و بصری‌سازی شبکه‌های علمی طراحی شده است. این نرم‌افزار با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته، امکان ایجاد نقشه‌های مختلف از داده‌های کتاب‌سنجی مانند هم‌رخدادی کلمات کلیدی، هم‌نویسندگی و استناد را فراهم می‌کند. در این پژوهش، از قابلیت‌های وس‌ویور برای تحلیل هم‌رخدادی کلمات کلیدی استفاده شده است. در این روش، نرم‌افزار ماتریس هم‌رخدادی کلمات کلیدی را بر اساس تعداد دفعات ظاهر شدن آن‌ها در کنار یکدیگر در مقالات ایجاد کرده و سپس با استفاده از تکنیک‌های کاهش ابعاد و خوشه‌بندی، این ماتریس را به یک نقشه بصری تبدیل می‌کند. عناصر این نقشه (گره‌ها و پیوندها) بر اساس میزان تکرار و ارتباط کلمات کلیدی با یکدیگر جانمایی می‌شوند. تحلیل این نقشه‌ها بر اساس اندازه گره‌ها (نشان‌دهنده فراوانی)، رنگ گره‌ها (نشان‌دهنده زمان وقوع یا خوشه)، پیوندها (نشان‌دهنده ارتباط و قوت آن) و چگالی گره‌ها (نشان‌دهنده تمرکز موضوعی) انجام می‌پذیرد و امکان شناسایی موضوعات کلیدی، ساختار حوزه و روند تحولات آن را فراهم می‌سازد.

٥. یافته‌ها

شکل ۱ نقشه شبکه کلمات کلیدی در حوزه های مرتبط با شناورهای تندرو را نشان می‌دهد. رنگ نقاط نشان‌دهنده خوشه‌ها یا گروه‌هایی از کلمات کلیدی مرتبط است. نقاطی که در یک خوشه رنگی قرار دارند، ارتباط قوی‌تری با یکدیگر دارند تا با نقاطی که در خوشه‌های رنگی دیگر هستند. این خوشه‌ها معمولا نمایانگر زیرشاخه‌ها، موضوعات اصلی یا حوزه‌های تحقیقاتی متمایز در دامنه گسترده‌تر مورد تحلیل هستند. در این تصویر، چندین خوشه رنگی مشخص دیده می‌شود:



شکل ۱- نقشه شبکه‌ای کلمات کلیدی مرتبط با شناورهای تندرو

یک خوشه بزرگ **سبز رنگ** که حول impact (تأثیر) و performance (عملکرد) متمرکز شده و به کلماتی مانند prediction (پیش‌بینی)، (طراحی)، strength (استحکام) و fatigue (خستگی) متصل است. این گره به بررسی جنبه‌های حیاتی تأثیر و عملکرد سازه‌ای در طراحی و توسعه شناورهای تندرو می‌پردازد. خوشه سبز متمرکز بر تأثیر و عملکرد با اتصال به مفاهیمی نظیر پیش‌بینی، طراحی، استحکام و خستگی، نشان‌دهنده اهمیت پژوهش‌های مرتبط با دوام، قابلیت اطمینان و ایمنی این شناورها در سرعت‌های بالا و شرایط دریایی مختلف است. پیش‌بینی رفتار سازه تحت بارهای دینامیکی و ضربه، طراحی بهینه بدنه با تأکید بر استحکام و مقاومت در برابر خستگی ناشی از ارتعاشات و نیروهای هیدرودینامیکی، از جمله عوامل کلیدی در دستیابی به عملکرد مطلوب و کاهش خطرات احتمالی می‌باشند. این پژوهش‌ها با استفاده از مدل‌سازی، شبیه‌سازی و آزمایش‌های دقیق، بهینه‌سازی طراحی سازه و بهبود عملکرد کلی شناورهای تندرو را هدف قرار می‌دهند. در نهایت، درک عمیق از تأثیر و عملکرد سازه‌ای، نقش بسزایی در توسعه شناورهای تندرو با ایمنی، کارایی و طول عمر بالا ایفا می‌کند. قرارگیری گره high-speed boat در خوشه سبز و ارتباط آن با گره‌های اصلی این خوشه (مانند عملکرد، تأثیر، طراحی، استحکام و خستگی) نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از تحقیقات در حوزه مرتبط با این نمودار، بر جنبه‌های فنی، سازه‌ای و عملکردی شناورهای تندرو تمرکز دارد. همچنین، ارتباط آن با خوشه‌های هیدرودینامیک و عملیات/مدیریت نشان‌دهنده گستردگی موضوع و توجه به ابعاد مختلف طراحی، تحلیل و کاربری این نوع شناورها است.

یک خوشه **آبی رنگ** که حول هیدرودینامیک و دینامیک سیالات محاسباتی متمرکز شده و به کلماتی مانندپسا، مقاومت، شبیه‌سازی و اعتبارسنجی متصل است. این خوشه احتمالا مربوط به جنبه‌های هیدرودینامیکی و شبیه‌سازی در شناورهای تندرو اشاره دارد. ارتباط در این خوشه (شامل هیدرودینامیک و دینامیک سیالات محاسباتی، مقاومت، شبیه‌سازی و اعتبارسنجی) بسیار منطقی است، زیرا هیدرودینامیک نقش حیاتی در تعیین مقاومت در برابر حرکت، پایداری و عملکرد شناورهای تندرو دارد. شبیه‌سازی‌های و دینامیک سیالات محاسباتی ابزاری مهم برای تحلیل هیدرودینامیکی این شناورها هستند. این مقاله به بررسی نقش بنیادین هیدرودینامیک در طراحی و عملکرد شناورهای تندرو می‌پردازد. در این شناورها، درک و مدیریت نیروهای هیدرودینامیکی نظیر مقاومت در برابر حرکت برای دستیابی به سرعت‌های بالا، حفظ پایداری و بهینه‌سازی مصرف انرژی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شبیه‌سازی‌های دینامیک سیالات محاسباتی به عنوان ابزاری قدرتمند در تحلیل دقیق رفتار هیدرودینامیکی این شناورها، پیش‌بینی عملکرد آن‌ها در شرایط مختلف و اعتبارسنجی طرح‌های نوآورانه مورد استفاده قرارمی‌گیرند. بهینه‌سازی طراحی هیدرودینامیکی از طریق شبیه‌سازی و اعتبارسنجی تجربی، گامی اساسی در جهت بهبود کارایی، کاهش مقاومت و افزایش پایداری شناورهای تندرو محسوب می‌شود و نقش کلیدی در توسعه این نوع شناورها ایفا می‌کند.

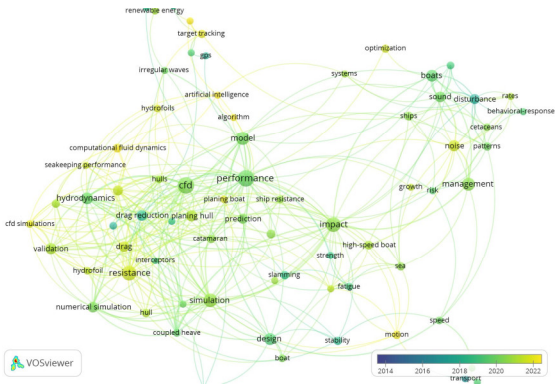
یک خوشه **قرمز رنگ** که حول قایق‌ها، اختلال صوتی، مدیریت و ریسک متمرکز شده است. این خوشه می‌تواند نشان‌دهنده پژوهش‌های مرتبط با جنبه‌های عملیاتی، مدیریت و مسائل بالقوه مانند کاهش صدا یا ریسک مربوط به قایق‌ها یا سیستم‌های مشابه باشد. این مقاله به بررسی جنبه‌های مدیریتی، عملیاتی و مسائل بالقوه مرتبط با شناورهای تندرو، با تمرکز ویژه بر اختلالات صوتی و ریسک‌های ناشی از آن‌ها می‌پردازد. اختلالات صوتی تولید شده توسط شناورهای تندرو می‌توانند تأثیرات منفی بر پرسنل، محیط زیست دریایی و مناطق ساحلی داشته باشند و نیازمند راهکارهای مدیریتی مؤثر جهت کاهش آن‌ها هستند. همچنین، عملیات شناورهای تندرو همواره با ریسک‌های مختلفی از جمله ایمنی، فنی و محیطی همراه است که نیازمند مدیریت دقیق و ارزیابی

مستمر می‌باشد. پژوهش در این خوشه بر شناسایی منابع اختلال صوتی، ارزیابی ریسک‌های مرتبط با سرعت بالا و عملیات دریایی، و توسعه راهکارهای مدیریتی و فناوری‌های کاهش صدا و افزایش ایمنی در طراحی و بهره‌برداری از شناورهای تندرو تمرکز دارد. درک و مدیریت این جنبه‌ها برای توسعه پایدار و مسئولانه صنعت شناورهای تندرو ضروری است.

یک خوشه **بنفش رنگ** شامل انرژی تجدیدپذیر، ردیابی هدف و جی‌پی‌اس این ممکن است نشان‌دهنده ارتباط با کاربردهای تکنولوژیکی گسترده‌تر یا سیستم‌های خاص باشد. کاربرد منابع انرژی تجدیدپذیر نظیر پنل‌های خورشیدی و توربین‌های بادی، پتانسیل کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، تأمین انرژی سیستم‌های جانبی، افزایش برد عملیاتی (به طور غیرمستقیم) و امکان توسعه پیشرانه‌های هیبریدی و الکتریکی را فراهم می‌آورد. سیستم‌های ردیابی هدف، با ارتقای آگاهی از موقعیت محیطی، ایفای نقش حیاتی در عملیات نظامی، امنیتی و جستجو و نجات، و یکپارچه‌سازی با سیستم‌های ناوبری، به بهبود ایمنی و کارایی عملیاتی کمک می‌کنند. جی‌پی‌اس به عنوان یک جزء اساسی، موقعیت‌یابی دقیق، برنامه‌ریزی مسیر، هماهنگی عملیات و یکپارچه‌سازی با سایر سیستم‌ها را تسهیل می‌نماید. تجمیع این فناوری‌ها، امکان ایجاد شناورهای تندرو خودران با انرژی تجدیدپذیر، سیستم‌های ناوبری هوشمند و کارآمد با قابلیت تصمیم‌گیری بلادرنگ، شناورهایی با ردپای محیطی کم و افزایش چشمگیر ایمنی و اثربخشی عملیات در سناریوهای متنوع را میسر می‌سازد. این بررسی نشان می‌دهد که هم‌افزایی انرژی تجدیدپذیر، ردیابی هدف و جی‌پی‌اس، رویکردی امیدوارکننده در راستای توسعه نسل جدیدی از شناورهای تندرو با عملکرد بهینه و پایدار ارائه می‌دهد.

خوشه‌های کوچکتر مثل گره **نارنجی رنگ** نیز وجود دارند که مفاهیم مرتبط دیگری مانند هوش مصنوعی، الگوریتم، مدل، سرعت و حمل‌ونقل را نشان می‌دهند. این گره به بررسی نقش محوری هوش مصنوعی و سرعت در بهبود عملکرد و گسترش کاربردهای حمل‌ونقلی شناورهای تندرو می‌پردازد. هوش مصنوعی با بهره‌گیری از الگوریتم‌های پیچیده و مدل‌های پیشرفته، امکان توسعه سیستم‌های ناوبری خودران و هوشمند، بهینه‌سازی مصرف سوخت و عملکرد موتور، تشخیص و پیش‌بینی خرابی، کنترل پایداری دینامیکی و پردازش داده‌های ردیابی هدف را فراهم می‌آورد. سرعت، به عنوان ویژگی ذاتی شناورهای تندرو، ارتباط مستقیمی با کاربرد اصلی آن‌ها در حمل‌ونقل سریع مسافر، بار و پرسنل دارد و در سناریوهای نظامی و امنیتی نیز مزیت تاکتیکی ایجاد می‌کند. یکپارچه‌سازی هوش مصنوعی با قابلیت‌های سرعت بالای شناورهای تندرو، منجر به افزایش کارایی، کاهش هزینه‌ها، بهبود ایمنی و پدیدار شدن کاربردهای نوظهور در سیستم‌های حمل‌ونقل دریایی خودران می‌گردد. این بررسی بر اهمیت فزاینده هوش مصنوعی در بهینه‌سازی عملکرد و گسترش نقش شناورهای تندرو در صنعت حمل‌ونقل دریایی تأکید می‌کند.

شکل ۲ تحلیل بصری شبکه هم‌واژگانی[8] فناوری‌های مرتبط با شناورهای تندرو را نمایش می‌دهد. رنگ گره‌ها و خطوط در این شبکه بر اساس زمان انتشار مقالات مرتبط با آن واژه یا ارتباط کدگذاری شده است. طیف رنگی از آبی تیره (نشان‌دهنده انتشارات قدیمی‌تر، احتمالا حول سال ۲۰۱۴) تا زرد روشن (نشان‌دهنده انتشارات جدیدتر و فناوری‌های نوظهور، احتمالا حول سال ۲۰۲۴) متغیر است. این کدگذاری زمانی امکان شناسایی روندهای پژوهشی و ظهور فناوری‌های جدید در این حوزه را فراهم می‌سازد. خوشه‌های رنگی مختلف نیز در این شبکه قابل مشاهده هستند که نشان‌دهنده گروه‌هایی از مفاهیم هستند که به طور مکرر با یکدیگر رخ داده و احتمالاً حوزه‌های تخصصی یا موضوعات فرعی مرتبط با شناورهای تندرو را مشخص می‌کنند.



شکل ۲- نقشه شبکه‌ای کلمات کلیدی مرتبط با شناورهای تندرو در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۴

[8] Co-word network

گره‌های بزرگ مانند performance, hydrodynamics impact, management نشان می‌دهند که این مفاهیم از اهمیت بالایی در پژوهش‌های این حوزه برخوردارند.

خوشه سبز در شبکه هم‌واژگانی نشان‌دهنده تمرکز قابل توجهی بر جنبه‌های کلیدی عملکرد تأثیر، طراحی، استحکام و خستگی در پژوهش‌های مرتبط با شناورهای تندرو است. این خوشه مفاهیم بنیادینی را در بر می‌گیرد که به طور سنتی در مهندسی دریایی و طراحی شناورهای پرسرعت مورد توجه بوده‌اند. بررسی رنگ‌بندی گره‌های درون خوشه سبز نشان می‌دهد که این مفاهیم از دیرباز (رنگ‌های آبی و سبز) مورد توجه پژوهشگران بوده‌اند و همچنان در سال‌های اخیر (رنگ‌های زرد و روشن‌تر) نیز اهمیت خود را حفظ کرده‌اند. این امر حاکی از آن است که عملکرد، طراحی سازه‌ای و مسائل مربوط به ضربه و خستگی، چالش‌های مستمر و بنیادین در توسعه شناورهای تندرو به شمار می‌روند. دستیابی به سرعت‌های بالا مستلزم طراحی بدنه‌های بهینه، در نظر گرفتن نیروهای هیدرودینامیکی پیچیده، تضمین استحکام سازه‌ای در برابر بارهای دینامیکی شدید (ناشی از ضربه و کوبش در امواج) و مدیریت مسئله خستگی مواد در طول عمر بهره‌برداری است. اگرچه خوشه سبز بر مفاهیم سنتی تمرکز دارد، اما فناوری‌های نوظهوری که در خوشه‌های دیگر با رنگ روشن‌تر مشخص شده‌اند، تأثیر قابل توجهی بر نحوه پرداختن به این جنبه‌ها در شناورهای تندرو دارند:

- هوش مصنوعی و مدل‌سازی پیشرفته این فناوری‌ها امکان ایجاد مدل‌های دقیق‌تر برای پیش‌بینی عملکرد هیدرودینامیکی، بارهای ناشی از ضربه و خستگی سازه را فراهم می‌کنند. الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند در بهینه‌سازی طراحی بدنه و سیستم‌های میرایی ضربه به منظور بهبود عملکرد و کاهش تنش‌های وارده به سازه نقش داشته باشند. آینده این فناوری‌ها در ارائه ابزارهای قدرتمند برای طراحی مجازی، شبیه‌سازی دقیق و تصمیم‌گیری هوشمندانه در مراحل توسعه شناورهای تندرو نهفته است.
- مواد نوین توسعه و کاربرد مواد سبک‌وزن با استحکام بالا و مقاومت در برابر خستگی (مانند کامپوزیت‌های پیشرفته) نقش کلیدی در بهبود عملکرد (افزایش سرعت و کاهش مصرف سوخت) و افزایش طول عمر سازه‌ای شناورهای تندرو ایفا می‌کند. آینده این حوزه در توسعه مواد هوشمند با قابلیت خودترمیمی و مواد با خواص مکانیکی سفارشی‌سازی شده است.
- روش‌های ساخت پیشرفته فناوری‌هایی مانند چاپ سه‌بعدی امکان ساخت قطعات پیچیده با هندسه‌های بهینه و کاهش وزن را فراهم می‌کنند. این امر می‌تواند در طراحی بدنه‌های هیدرودینامیک‌تر و اجزای سازه‌ای با استحکام و مقاومت بهینه در برابر خستگی مؤثر باشد. آینده این فناوری‌ها در تولید سفارشی‌سازی شده و کاهش زمان و هزینه ساخت نهفته است.
- سیستم‌های کنترل فعال استفاده از هیدروفویل‌های فعال، باله‌های تثبیت‌کننده و سایر سیستم‌های کنترلی که با استفاده از حسگرها و الگوریتم‌های کنترلی در زمان واقعی تنظیم می‌شوند، می‌تواند به طور قابل توجهی عملکرد هیدرودینامیکی را بهبود بخشیده، ضربه و کوبش را کاهش داده و در نتیجه تنش‌های وارده به سازه و خستگی مواد را به حداقل برساند. آینده این سیستم‌ها در ادغام با هوش مصنوعی برای دستیابی به کنترل تطبیقی و خودکار است.

فناوری‌های مرتبط با خوشه سبز به سمت موارد زیر پیش می‌روند:

- طراحی مبتنی بر شبیه‌سازی استفاده گسترده از شبیه‌سازی‌های چندفیزیکی دقیق برای پیش‌بینی عملکرد، بارهای سازه‌ای و خستگی در مراحل اولیه طراحی.
- بهینه‌سازی چندهدفه استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای یافتن طرح‌هایی که به طور همزمان عملکرد هیدرودینامیکی بالا، استحکام سازه‌ای مناسب و مقاومت در برابر خستگی را تضمین کنند.
- پایش وضعیت سازه ادغام حسگرها و سیستم‌های هوشمند برای پایش مستمر وضعیت سازه در طول

عمر بهره‌برداری و تشخیص زودهنگام آسیب‌های ناشی از ضربه و خستگی.

- رویکردهای طراحی مقاوم در برابر آسیب طراحی سازه‌ها به گونه‌ای که در صورت بروز آسیب (مانند ترک ناشی از خستگی یا ضربه)، همچنان قادر به تحمل بار باشند و از خرابی فاجعه‌بار جلوگیری شود.

خوشه زرد و سبز روشن متمرکز بر واژگان هیدرودینامیک، CFD (دینامیک سیالات محاسباتی)، نیروی پسا و مقاومت، شبیه‌سازی و اعتبارسنجی، نشان‌دهنده تمرکز قابل توجه پژوهش‌های جدیدتر بر تحلیل و بهینه‌سازی عملکرد هیدرودینامیکی شناورهای تندرو با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی پیشرفته است. رنگ روشن این خوشه حاکی از افزایش توجه به این حوزه در سال‌های اخیر (نزدیک به ۲۰۲۲) می‌باشد. در گذشته، طراحی و تحلیل هیدرودینامیکی شناورهای تندرو عمدتا بر پایه آزمایش‌های مدل در حوضچه کشش و روابط تجربی استوار بود. با پیشرفت دینامیک سیالات محاسباتی و افزایش توان پردازشی کامپیوترها، شاهد تغییر رویکرد به سمت استفاده گسترده از شبیه‌سازی‌های عددی برای درک دقیق‌تر جریان سیال حول بدنه شناور، پیش‌بینی نیروهای هیدرودینامیکی (مانند پسار و مقاومت) و ارزیابی عملکرد در شرایط مختلف عملیاتی هستیم. ظهور رنگ‌های زرد و سبز روشن در این خوشه نشان می‌دهد که دینامیک سیالات محاسباتی و روش‌های شبیه‌سازی به ابزارهای کلیدی در پژوهش و توسعه شناورهای تندرو در سال‌های اخیر تبدیل شده‌اند. این امر امکان طراحی‌های بهینه‌تر، کاهش مصرف سوخت، افزایش سرعت و بهبود پایداری را فراهم آورده است. همچنین، واژه validation در این خوشه اهمیت اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی‌ها با داده‌های تجربی را برجسته می‌سازد که برای افزایش دقت و قابلیت اطمینان مدل‌های دینامیک سیالات محاسباتی ضروری است.چندین فناوری نوظهور در این خوشه قابل شناسایی هستند و انتظار می‌رود در آینده نقش مهم‌تری ایفاء کنند:

- دینامیک سیالات محاسباتی پیشرفته و چندفیزیکی:

توسعه الگوریتم‌های دینامیک سیالات محاسباتی پیچیده‌تر که قادر به مدل‌سازی دقیق‌تر جریان‌های چندفازی (مانند پدیده کاویتاسیون و پاشش آب)، اثرات امواج نامنظم (irregular waves) و تعامل سیال-سازه‌ای (coupled heave) هستند. آینده شامل ادغام دینامیک سیالات محاسباتی با روش‌های یادگیری ماشین برای بهبود دقت و سرعت شبیه‌سازی‌ها خواهد بود.

- شبیه‌سازی در زمان واقعی

با افزایش قدرت محاسباتی، امکان انجام شبیه‌سازی‌های هیدرودینامیکی در زمان واقعی برای سیستم‌های کنترل فعال شناور (مانند هیدروفویل‌ها و اینترسپتورها) و آموزش خدمه فراهم خواهد شد.

- بهینه‌سازی توپولوژی و شکل بدنه مبتنی بر دینامیک سیالات محاسباتی

استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی و هوش مصنوعی در کنار دینامیک سیالات محاسباتی برای یافتن شکل‌های بدنه با کمترین مقاومت و بهترین عملکرد هیدرودینامیکی به صورت خودکار.

- واقعیت مجازی و افزوده برای تجسم نتایج شبیه‌سازی

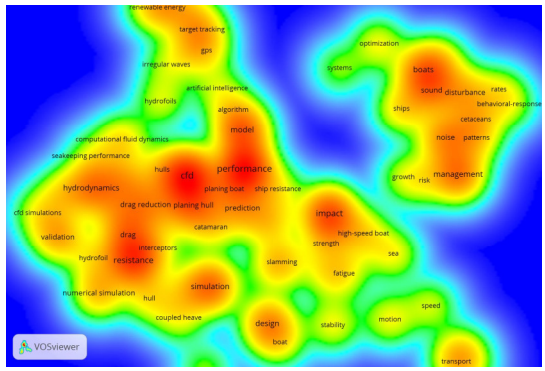
استفاده از واقعیت مجازی و افزوده برای تجسم بصری جریان‌های پیچیده و نیروهای هیدرودینامیکی به منظور درک بهتر نتایج شبیه‌سازی و تسهیل فرآیند طراحی.

فناوری‌های مرتبط با هیدرودینامیک و شبیه‌سازی در شناورهای تندرو به سمت موارد زیر پیش خواهند رفت:

- افزایش دقت و قابلیت اطمینان شبیه‌سازی‌ها از طریق توسعه مدل‌های فیزیکی پیشرفته‌تر و روش‌های اعتبارسنجی قوی‌تر.
- ادغام شبیه‌سازی با ابزارهای طراحی و بهینه‌سازی برای دستیابی به شناورهایی با عملکرد هیدرودینامیکی بی‌نظیر.
- کاربرد گسترده‌تر شبیه‌سازی در مراحل مختلف طراحی، ساخت و بهره‌برداری شناورهای تندرو، از جمله آموزش و سیستم‌های کنترل فعال.
- توسعه ابزارهای شبیه‌سازی کاربرپسند و قابل دسترس برای طیف وسیع‌تری از مهندسان و طراحان.

تحلیل خوشه هم‌واژگانی نشان می‌دهد که پژوهش‌های اخیر در حوزه شناورهای تندرو تمرکز فزاینده‌ای بر جنبه‌های هیدرودینامیکی و استفاده از روش‌های شبیه‌سازی پیشرفته، به ویژه دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، داشته است (شکل ۲). رنگ روشن گره‌های hydrodynamics، CFD، drag، resistance، simulation و validation بیانگر اهمیت روزافزون این حوزه در سال‌های اخیر (نزدیک به ۲۰۲۲) در مقایسه با رویکردهای سنتی مبتنی بر آزمایش‌های حوضچه کشش و روابط تجربی است (در مقایسه با رویکردهای سنتی مبتنی بر آزمایش‌های حوضچه کشش و روابط تجربی، ظهور و برجستگی خوشه هیدرودینامیک و شبیه‌سازی منعکس‌کننده توسعه الگوریتم‌های دینامیک سیالات محاسباتی پیشرفته و افزایش توان محاسباتی است که امکان تحلیل دقیق‌تر جریان‌های پیچیده حول بدنه شناور و پیش‌بینی نیروهای هیدرودینامیکی را فراهم آورده است. لازم به ذکر است که روش‌های سنتی مبتنی بر آزمایش‌های حوضچه کشش و روابط تجربی کماکان به عنوان ابزاری ارزشمند و قابل اطمینان در اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی و درک پدیده‌های فیزیکی به شمار می‌روند و همچنان مورد استفاده قرار می‌گیرند). ظهور و برجستگی خوشه هیدرودینامیک و شبیه‌سازی منعکس‌کننده توسعه الگوریتم‌های دینامیک سیالات محاسباتی پیشرفته و افزایش توان محاسباتی است که امکان تحلیل دقیق‌تر جریان‌های پیچیده حول بدنه شناور و پیش‌بینی نیروهای هیدرودینامیکی را فراهم آورده است. اعتبارسنجی validation نتایج شبیه‌سازی‌ها با داده‌های تجربی نیز به عنوان یک گام ضروری در افزایش دقت و قابلیت اطمینان مدل‌های دینامیک سیالات محاسباتی مورد توجه قرار گرفته است. فناوری‌های نوظهور در این حوزه شامل توسعه دینامیک سیالات محاسباتی چندفیزیکی برای مدل‌سازی دقیق‌تر پدیده کاویتاسیون و تعامل سیال-سازه‌ای، پیشرفت به سوی شبیه‌سازی در زمان واقعی برای سیستم‌های کنترل فعال و آموزش، و استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مبتنی بر دینامیک سیالات محاسباتی برای طراحی بدنه‌های بهینه با کمترین مقاومت می‌باشد. انتظار می‌رود که آینده پژوهش در این حوزه به سمت ادغام عمیق‌تر شبیه‌سازی با فرآیندهای طراحی و بهینه‌سازی، کاربرد گسترده‌تر آن در مراحل مختلف چرخه عمر شناور و توسعه ابزارهای کاربرپسندتر پیش رود. این تحولات نویدبخش طراحی و ساخت نسل جدیدی از شناورهای تندرو با عملکرد هیدرودینامیکی برتر، مصرف سوخت بهینه و پایداری بهبود یافته می‌باشد. تحلیل شبکه هم‌واژگانی (شکل ۲) نشان می‌دهد که خوشه‌ای از مفاهیم زرد و سبز کم‌رنگ، نمایانگر حوزه‌های فعال پژوهشی و فناوری‌های نوظهور در زمینه شناورهای تندرو در سال‌های اخیر (تقریبا ۲۰۲۰-۲۰۲۲) است. این گره‌ها شامل انرژی تجدیدپذیر (renewable energy) با تمرکز بر کاهش وابستگی به سوخت فسیلی، ردیابی هدف (target tracking) و GPS با تأکید بر ناوبری پیشرفته و خودکارسازی، و هوش مصنوعی (artificial intelligence) به عنوان ابزاری کلیدی در بهینه‌سازی عملکرد و کنترل سیستم‌ها می‌باشند.علاوه بر این، توجه قابل ملاحظه‌ای به هیدرودینامیک پیشرفته با مطالعه امواج نامنظم و استفاده از مدل‌سازی و شبیه‌سازی برای بهینه‌سازی طراحی بدنه و کاهش مقاومت و پسا دیده می‌شود. مفاهیم مرتبط با پایداری و کنترل حرکت نیز با رنگ‌های روشن، نشان‌دهنده اهمیت آن‌ها در عملکرد ایمن و کارآمد شناورهای تندرو در سرعت‌های بالا هستند.در زمینه جنبه‌های عملیاتی و مدیریتی، گره‌های مدیریت و ریسک با رنگ‌های روشن، بر ضرورت رویکردهای سیستماتیک در بهره‌برداری از این شناورها تأکید دارند. همچنین، توجه به اثرات عملکرد شناور بر محیط زیست، به ویژه در زمینه الگوهای نویز و پاسخ رفتاری رو به افزایش است.به طور خلاصه، بررسی گره‌های زرد و سبز کم‌رنگ در این شبکه نشان می‌دهد که پژوهش‌های مرزدانشی و جدید در حوزه شناورهای تندرو به سمت توسعه فناوری‌های پایدارتر، سیستم‌های ناوبری هوشمندتر، طراحی‌های هیدرودینامیکی بهینه‌تر و رویکردهای مدیریتی ایمن‌تر و مسئولانه‌تر در حال حرکت است.

شکل ۳ شکل حاضر یک نقشه چگالی است و توزیع و تمرکز مفاهیم کلیدی مرتبط با حوزه شناورهای تندرو را نشان می‌دهد.



شکل ۳- نقشه چگالی و تمرکز فناوری مرتبط با شناورهای تندرو

این تصویر یک نقشه چگالی است. این نوع نقشه، تراکم یا تمرکز کلمات کلیدی و ارتباطات بین آن‌ها را به صورت بصری نمایش می‌دهد.این شکل، چگالی عناصر موجود در یک شبکه (گره‌ها و پیوندها) را نمایش می‌دهد. هرچه تعداد کلمات کلیدی در یک منطقه خاص بیشتر و ارتباطات بین آن‌ها قوی‌تر باشد، چگالی در آن منطقه بالاتر خواهد بود.

رنگ‌های گرم (قرمز، نارنجی، زرد): نشان‌دهنده مناطق با چگالی بالا هستند. این‌ها نقاطی هستند که تعداد زیادی کلمه کلیدی مرتبط به هم در نزدیکی هم قرار گرفته‌اند و نشان‌دهنده تمرکز بالای پژوهش و ارتباطات در آن موضوعات هستند.

رنگ‌های سرد (آبی تیره، آبی روشن، سبز): نشان‌دهنده مناطق با چگالی پایین هستند. این‌ها نقاطی هستند که کلمات کلیدی کمتری در آن‌ها قرار گرفته یا ارتباطات ضعیف‌تری دارند و نشان‌دهنده موضوعات کمتر متمرکز یا حاشیه‌ای‌تر هستند. در این شکل، چندین منطقه با چگالی متراکم مشاهده می‌شود که با رنگ‌های نارنجی و زرد مشخص شده‌اند. مهم‌ترین این نقاط حول کلمات کلیدی زیر قرار گرفته‌اند:

هیدرودینامیک و دینامیک سیالات محاسباتی این منطقه یکی از پرچگال‌ترین بخش‌هاست که شامل کلماتی مانند پسا، مقاومت،اعتبارسنجی و شبیه‌سازی عددی نیز می‌شود. این نشان‌دهنده تمرکز بالای پژوهش بر جنبه‌های سیالاتی و روش‌های محاسباتی در این حوزه است. ارتباط هیدرودینامیک و CFD با شناورهای تندرو بسیار پررنگ و محوری است. این منطقه پرتراکم از واژگان نشان‌دهنده تمرکز بالای جامعه علمی بر روی تحلیل، پیش‌بینی و بهبود عملکرد سیالاتی این نوع شناورها با استفاده از ابزارهای محاسباتی است.

تحلیل ارتباط هیدرودینامیک و CFD با شناورهای تندرو:

شناورهای تندرو شامل انواع مختلفی مانند شناورهای پلنینگ [9]، قایق‌های پرنده ، کاتاماران‌های تندرو و ...، در سرعت‌های بالا با پدیده‌های هیدرودینامیکی پیچیده‌ای مواجه هستند که تحلیل آن‌ها با روش‌های تحلیلی صرف دشوار یا غیرممکن است. در این سرعت‌ها، عدد فرود بالا بوده و پدیده‌هایی مانند:[10]

پدیده پلنینگ (پروازی) در شناورهای پروازی، با افزایش سرعت، بخش قابل توجهی از بدنه از آب خارج شده و شناور روی سطح آب سر می‌خورد. این پدیده باعث کاهش مقاومت اصطکاکی و افزایش مقاومت فرم و مقاومت موج با دینامیک خاص خود می‌شود. موقعیت تعادل دینامیکی شناور در حالت پلنینگ اهمیت حیاتی در عملکرد و پایداری دارد.

مقاومت هیدرودینامیکی بالا علی‌رغم کاهش مقاومت اصطکاکی در حالت پلنینگ، مجموع مقاومت وارد بر شناورهای تندرو در سرعت‌های بالا قابل توجه است. تفکیک و پیش‌بینی دقیق اجزای مقاومت (اصطکاکی، فشار، موج، هوا و...) برای بهینه‌سازی مصرف سوخت و افزایش سرعت ضروری است. واژگان پسا و مقاومت در نقشه به این موضوع اشاره دارند.

دینامیک سیالاتی پیچیده: شامل پاشش آب، جدا شدن جریان، کاویتاسیون در پروانه‌ها و اثرات متقابل جریان با سازه‌های کنترلی (مانند سکان و پروانه‌ها).

رفتار دریایی شناورهای تندرو به دلیل سرعت بالا و اغلب ابعاد کوچک‌تر نسبت به شناورهای متعارف، حساسیت بیشتری به شرایط امواج و دریا دارند. پدیده‌هایی مانند کوبش[11] ضربه شدید آب به زیر بدنه شناور، به خصوص در قسمت‌های تخت، شتاب‌های عمودی و جانبی بالا، و پایداری دینامیکی در امواج، چالش‌های مهمی در طراحی آن‌ها هستند. واژگان seakeeping performance ، slamming، stability و motion این جنبه را پوشش می‌دهند.

هیدرودینامیک، به عنوان علم مطالعه حرکت سیالات و نیروهای وارد بر اجسام در حال حرکت در سیال، اصول بنیادی لازم برای درک این پدیده‌ها را فراهم می‌کند. با

[9] Planing Boats

[10] Froude number

[11] Slamming

این حال، حل تحلیلی معادلات حاکم بر جریان‌های سیالاتی پیچیده در اطراف شناورهای تندرو عموماً امکان‌پذیر نیست. اینجاست که CFD وارد عمل می‌شود. CFD (Computational Fluid Dynamics) با استفاده از روش‌های عددی مانند روش المان محدود ، روش حجم محدود یا روش تفاضل محدود ، معادلات ناویر-استوکس و معادلات پیوستگی را در یک دامنه گسسته‌سازی شده (مش‌بندی شده) حل می‌کند. این روش امکان شبیه‌سازی دقیق جریان سیال حول بدنه شناور را فراهم کرده و به پیش‌بینی کمی نیروهای هیدرودینامیکی (مانند مقاومت و نیروهای لیفت)، توزیع فشار، الگوی جریان، و رفتار دینامیکی شناور در حالات مختلف عملیاتی (سرعت‌ها و تریم‌های مختلف، در حضور امواج) می‌پردازد. واژگان simulation و numerical simulation بر این ابزار تأکید دارند.

نقش CFD در طراحی و تحلیل شناورهای تندرو:

پیش‌بینی و کاهش مقاومت: مهم‌ترین کاربرد CFD در زمینه شناورهای تندرو، پیش‌بینی دقیق مقاومت کل و اجزای آن در سرعت‌های مختلف است. این امر به مهندسان اجازه می‌دهد تا با تغییر شکل بدنه ، استفاده از تجهیزات کاهش مقاومت (مانند پدهای پلنینگ، استراکات، یا پره‌های هیدروفویل) و بهینه‌سازی تریم، مقاومت را به حداقل رسانده و بازدهی شناور را افزایش دهند. واژگان drag reduction و optimization در این زمینه مرتبط هستند.

تحلیل رفتار دریایی[12]: CFD قابلیت شبیه‌سازی حرکت شناور در امواج را فراهم می‌کند. این شبیه‌سازی‌ها امکان پیش‌بینی پاسخ‌های حرکتی (مانند Heave, Pitch, Roll)، شتاب‌ها و احتمال رخداد پدیده‌های نامطلوب مانند Slamming را می‌دهد. این اطلاعات برای بهبود طراحی بدنه و افزایش آسایش سرنشین و ایمنی حیاتی هستند. واژه coupled heave نیز به شبیه‌سازی حرکت عمودی کوپل شده اشاره دارد.

طراحی و تحلیل هیدروفویل‌ها و سطوح کنترلی: برای شناورهای پرنده و یا شناورهایی که از هیدروفویل برای کاهش مقاومت استفاده می‌کنند، CFD ابزار اصلی برای طراحی ایرفویل‌ها/هیدروفویل‌ها، پیش‌بینی نیروی لیفت و درگ آن‌ها و بررسی عملکردشان در سرعت‌ها و عمق‌های مختلف است.

اعتبارسنجی: نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های CFD باید با داده‌های تجربی (مانند نتایج آزمایش مدل در حوضچه کشش یا آزمایش در مقیاس کامل) یا در موارد ساده‌تر، با راه حل‌های تحلیلی اعتبارسنجی شوند. این فرآیند برای اطمینان از دقت و قابلیت اطمینان مدل‌های عددی و نتایج آن‌ها ضروری است و واژه validation اهمیت آن را نشان می‌دهد.

منطقه پرچگال شامل Performance و Impact که با کلماتی مانند design ، strength، fatigue و slamming مرتبط است، بر جنبه‌های سازه‌ای و تأثیرات فیزیکی ناشی از عملکرد هیدرودینامیکی در شناورهای تندرو تمرکز دارد. این بخش ارتباط حیاتی بین رفتار سیالاتی و یکپارچگی سازه‌ای این شناورها را نشان می‌دهد.

تحلیل ارتباط Performance و Impact با شناورهای تندرو در زمینه سازه‌ای: عملکرد (Performance) یک شناور تندرو تنها به سرعت و بازدهی هیدرودینامیکی آن محدود نمی‌شود، بلکه شامل قابلیت آن در تحمل بارهای وارده و حفظ یکپارچگی سازه‌ای در شرایط مختلف عملیاتی نیز می‌گردد. در شناورهای تندرو، به دلیل سرعت بالا و شکل خاص بدنه (مخصوصا در شناورهای پلنینگ)، بارهای هیدرودینامیکی دینامیکی و ضربه‌ای بسیار قابل توجهی به سازه وارد می‌شوند. پدیده‌های کلیدی در این زمینه عبارتند از:

کوبش کوبش ضربه شدید و ناگهانی آب به بخش‌هایی از بدنه شناور (معمولا قسمت‌های تخت کف یا پانتون‌ها در کاتاماران‌ها) است که در نتیجه برخورد مجدد بدنه با سطح آب پس از جدا شدن در اثر حرکت در امواج رخ می‌دهد. این پدیده در شناورهای تندرو، به ویژه در سرعت‌های بالا و شرایط دریایی نامساعد، بسیار شایع است و باعث ایجاد فشارهای موضعی بسیار بالا و بارهای کلی قابل توجهی بر سازه می‌شود. Slamming در نقشه واژگان مستقیما با این منطقه مرتبط است.

بارهای ناشی از حرکت در امواج: علاوه بر کوبش، حرکت‌های شش درجه آزادی شناور در امواج (Heave, Pitch, Roll, Surge, Sway, Yaw) باعث ایجاد بارهای هیدرودینامیکی نوسانی و دینامیکی بر کل سازه می‌شوند.

[12] Seakeeping Analysis

این بارها، به ویژه در سرعت‌های بالا، می‌توانند آمپلیتود قابل توجهی داشته باشند.

بارهای ایستایی و شبه‌ایستایی: این بارها شامل وزن سازه، تجهیزات، محموله، نیروهای هیدرواستاتیک (شناوری) و بارهای ناشی از مانور (مانند نیروهای گریز از مرکز در چرخش‌ها) هستند. هرچند دینامیک کمتری دارند، اما مبنای طراحی سازه برای تحمل بارهای اصلی را فراهم می‌کنند.این بارهای هیدرودینامیکی و ضربه‌ای مستقیما بر جنبه‌های سازه‌ای شناور تأثیر می‌گذارند:

استحکام: سازه شناور باید دارای استحکام کافی برای تحمل حداکثر بارهای پیش‌بینی شده، به خصوص بارهای ضربه‌ای ناشی از کوبش، باشد. طراحی سازه‌ای باید اطمینان حاصل کند که تنش‌های ایجاد شده در اجزای سازه از مقاومت تسلیم و مقاومت نهایی ماده فراتر نمی‌رود و از شکست سازه‌ای جلوگیری شود Strength به این جنبه اشاره دارد.

خستگی: شناورهای تندرو در طول عمر عملیاتی خود در معرض سیکل‌های بارگذاری مکرر ناشی از حرکت در امواج و پدیده‌هایی مانند کوبش قرار دارند. این بارهای سیکلی، حتی اگر به تنهایی باعث شکست آنی نشوند، می‌توانند به مرور زمان منجر به تجمع آسیب خستگی در سازه شده و در نهایت باعث رشد ترک و شکست خستگی گردند. تحلیل خستگی یک جنبه حیاتی در طراحی سازه‌های دریایی تندرو برای تضمین عمر مفید آن‌هاست. Fatigue در نقشه واژگان مستقیما به این موضوع اشاره دارد.

طراحی سازه‌ای: فرآیند طراحی سازه یک شناور تندرو به شدت تحت تأثیر پیش‌بینی و تحلیل بارهای هیدرودینامیکی و ضربه‌ای است. مهندسان با استفاده از اصول مکانیک سازه و ابزارهای تحلیلی/عددی (مانند روش المان محدود) ابعاد و مشخصات اعضای سازه‌ای (مانند تیرها، ستون‌ها، صفحات و اتصالات) را تعیین می‌کنند تا سازه بتواند بارهای وارده را با حاشیه ایمنی مناسب تحمل کند و در برابر خستگی مقاوم باشد Design در این منطقه پرتراکم، مفهوم طراحی سازه‌ای متأثر از بارهای هیدرودینامیکی را در بر می‌گیرد.

ارتباط این مفاهیم با هیدرودینامیک و CFD بسیار نزدیک است. شبیه‌سازی‌های هیدرودینامیکی و CFD، بارهای ورودی برای تحلیل سازه‌ای را فراهم می‌کنند. به عنوان مثال:

CFD می‌تواند برای پیش‌بینی فشارهای موضعی و بارهای کلی ناشی از کوبش در سرعت‌ها و شرایط دریایی مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

این بارهای پیش‌بینی شده سپس در مدل‌های سازه‌ای (مانند مدل‌های FEA) اعمال می‌شوند تا تحلیل تنش، تغییر شکل، تحلیل مودال و تحلیل خستگی سازه انجام گیرد. بنابراین، یک چرخه طراحی تکراری بین تحلیل هیدرودینامیکی/CFD و تحلیل سازه‌ای وجود دارد تا از Performance کلی (هم هیدرودینامیکی و هم سازه‌ای) اطمینان حاصل شود.

منطقه پرچگال که شامل کلماتی مانند Boats ، Sound disturbance و Management است، تمرکز پژوهش را بر جنبه‌های گسترده‌تری فراتر از صرف هیدرودینامیک محض نشان می‌دهد. در حالی که بخش قبلی به چالش‌های سیالاتی و ابزارهای محاسباتی برای تحلیل آن‌ها می‌پرداخت، این بخش بیشتر به پیامدهای عملیاتی، زیست‌محیطی و فیزیکی مرتبط با استفاده از شناورها اشاره دارد. ارتباط این منطقه با شناورهای تندرو به دلیل ویژگی‌های خاص این نوع شناورها اهمیت پیدا می‌کند.

تحلیل ارتباط با شناورهای تندرو: شناورهای تندرو، به واسطه سرعت بالا و غالباً سیستم‌های رانش پرقدرت، پیامدها و چالش‌های خاصی در زمینه‌های مورد اشاره در این منطقه از نقشه ایجاد می‌کنند که آن‌ها را از شناورهای متعارف متمایز می‌سازد:

اختلال صوتی و نویز

نویز زیر آب شناورهای تندرو معمولاً از پیشرانه‌های پرقدرت‌تری استفاده می‌کنند و شکل بدنه و پدیده‌های هیدرودینامیکی مرتبط با سرعت بالا (مانند کاویتاسیون در پروانه‌ها، پاشش آب و جدایش جریان) می‌توانند منابع قابل توجهی از نویز زیر آب باشند.

مقررات و مدیریت نویز با افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی، مدیریت انتشار نویز از شناورها اهمیت فزاینده‌ای یافته و نیازمند پژوهش برای درک بهتر منابع نویز، پیش‌بینی انتشار آن و توسعه راهکارهای کاهش نویز است.

ایمنی در سرعت بالا: عملیات شناورهای تندرو نیازمند مدیریت دقیق سرعت، مسیر حرکت و شرایط محیطی مانند irregular waves برای کاهشریسک سوانح است.

بهینه‌سازی مسیر و زمان‌بندی برای سرویس‌های حمل و نقل سریع با شناورهای تندرو، بهینه‌سازی مسیرها، زمان‌بندی حرکت و تعیین نرخ خدمات با در نظر گرفتن عواملی مانند مصرف سوخت، شرایط دریا و محدودیت‌های زیست‌محیطی اهمیت دارد. این موضوعات تحت عنوان مدیریت کلی قرار می‌گیرند.

جنبه‌های سازه‌ای و فیزیکی

کوبش همانطور که در تحلیل قبلی اشاره شد، Slamming یک پدیده کلیدی در شناورهای تندرو است که در سرعت‌های بالا و در امواج رخ می‌دهد و بارهای ضربه‌ای شدید به سازه وارد می‌کند. این موضوع مستقیما با strength و fatigue سازه شناور مرتبط است. مقاومت سازه‌ای در برابر بارهای کوبش و بررسی عمر خستگی سازه تحت سیکل‌های بارگذاری ناشی از حرکت در امواج و کوبش، از مسائل حیاتی در طراحی شناورهای تندرو است.

دینامیک حرکتی و پایداری: کنترل حرکت شناور و حفظ پایداری آن در سرعت‌های بالا و در مواجهه با اغتشاشات محیطی از چالش‌های مهم طراحی است. این جنبه نیز بر طراحی استحکام سازه و ایمنی کلی عملیات تأثیر می‌گذارد.

بنابراین، این منطقه از نقشه نشان‌دهنده این است که پژوهش در زمینه شناورهای تندرو تنها به هیدرودینامیک محدود نمی‌شود، بلکه شامل جنبه‌های مهمی مانند تأثیر زیست‌محیطی ناشی از نویز، چالش‌های مدیریت عملیاتی در سرعت بالا و ملاحظات حیاتی سازه‌ای مانند مقاومت در برابر کوبش و خستگی نیز می‌شود. قایق به عنوان موجودیت مورد مطالعه در مرکز این تحلیل قرار دارد.

نقشه چگالی نشان می‌دهد که حوزه پژوهشی مورد نظر دارای چندین کانون اصلی تمرکز (نقاط پرچگالی) است که نسبتاً از هم فاصله دارند اما با مناطق با چگالی متوسط (رنگ سبز/زرد روشن) به هم متصل شده‌اند. این نشان می‌دهد که حوزه نه کاملا متمرکز بر یک موضوع واحد است و نه کاملا پراکنده، بلکه شامل چند زیرشاخه اصلی با ارتباطات مشخص است.

به طور خلاصه، نقاط داغ پژوهش در این حوزه، به طور مستقیم بر روی جنبه‌های کلیدی فنی (هیدرودینامیک، سازه، عملکرد) و عملیاتی (مدیریت، ایمنی، محیط زیست) متمرکز شده‌اند که همگی برای طراحی، ساخت و بهره‌برداری موفق از شناورهای تندرو حیاتی هستند. نقشه چگالی به خوبی نشان می‌دهد که این موضوعات پرتکرارترین و مرتبط‌ترین مباحث در ادبیات پژوهشی این حوزه محسوب می‌شوند.

۶. تحلیل نتایج

مبانی و منطق انتخاب سؤالات پژوهشی در مورد شکل ۱- نقشه شبکه‌ای کلمات کلیدی مرتبط با شناورهای تندرو:

انتخاب و طراحی سؤالات پژوهشی ارائه‌شده در این قسمت بر مبنای تحلیل خوشه‌ای موضوعات پژوهشی استخراج‌شده از منابع علمی مرتبط با شناورهای تندرو صورت گرفته است. بر این اساس، سؤالات پژوهشی طراحی‌شده بر پایه پنج اصل کلیدی تدوین شده‌اند:

۱. پوشش جامع حوزه‌های چندرشته‌ای مرتبط با شناورهای تندرو

هریک از سؤالات تدوین‌شده در راستای یکی از خوشه‌های تخصصی تحلیل‌شده قرار دارد که به‌طور مستقیم به ابعاد مختلف طراحی، عملکرد، پیش‌بینی‌پذیری و فناوری‌های نوین مرتبط با شناورهای تندرو می‌پردازد. این تنوع موضوعی تضمین می‌کند که مسیرهای مختلف تحقیقاتی – اعم از هیدرودینامیک، صوت‌شناسی، هوش مصنوعی، انرژی و طراحی بدنه – به‌صورت منسجم دربر گرفته شوند.

۲. هم‌راستایی با چالش‌های کاربردی و صنعتی

شناورهای تندرو در حوزه‌های نظامی، امنیتی، جستجو و نجات، و حمل‌ونقل سریع کاربرد دارند و با چالش‌هایی نظیر کاهش مصرف انرژی، عملکرد در شرایط نامنظم دریایی، کاهش تأثیرات زیست‌محیطی و ارتقاء پایداری مواجه‌اند. سؤالات منتخب با هدف تحلیل و حل این چالش‌ها، به‌ویژه در بستر فناوری‌های نوین، طراحی شده‌اند.

۳. قابلیت توسعه به پروژه‌های پژوهشی مستقل

سؤالات مطرح‌شده، ساختاری مسئله‌محور و پژوهش‌پذیر دارند و می‌توانند مبنای تدوین پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد و دکتری، طرح‌های پژوهشی دانشگاهی و مقالات علمی–پژوهشی قرار گیرند. هر پرسش قابلیت تبدیل به یک مطالعه عددی، آزمایشگاهی یا ترکیبی را دارد و از منظر روش‌شناسی، قابل توسعه با مدل‌سازی، شبیه‌سازی و تحلیل داده است.

۴. ادغام فناوری‌های نوین با مبانی سنتی مهندسی دریایی

یکی از ویژگی‌های کلیدی سؤالات، تمرکز بر ادغام فناوری‌های روز مانند مدل‌سازی هوشمند، یادگیری ماشین، انرژی‌های تجدیدپذیر، شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی، و الگوریتم‌های تکاملی با مباحث کلاسیکی چون تحلیل هیدرودینامیکی، طراحی بدنه و کنترل نویز است. این رویکرد بین‌رشته‌ای، بستری مناسب برای پژوهش‌های نوآورانه فراهم می‌سازد.

۵. امکان ارزیابی علمی با داده‌های عددی و آزمایشگاهی

هریک از سؤالات طراحی‌شده به‌گونه‌ای فرموله شده‌اند که قابلیت پاسخ‌گویی به‌وسیله روش‌های کمی را دارا باشند. استفاده از روش‌های عددی مانند دینامیک سیالات محاسباتی، مدل‌سازی ساختاری، آزمون‌های تجربی یا روش‌های داده‌کاوی، مسیر علمی مشخصی برای پاسخ به هر پرسش فراهم می‌آورد.

با توجه به موارد فوق، می‌توان ادعا کرد که این سؤالات پژوهشی نه‌تنها برآمده از تحلیل ساختاری علم‌سنجی هستند، بلکه هم‌راستا با چالش‌ها و نیازهای روز حوزه شناورهای تندرو و صنعت دریایی طراحی شده‌اند و ظرفیت بالایی برای تولید دانش جدید و ارتقاء فناوری در این زمینه دارند.

سؤال ۱: با توجه به نقشه علمی (شکل ۱) چگونه می‌توان با استفاده از روش‌های نوین دینامیک سیالات محاسباتی و الگوریتم‌های بهینه‌سازی، مصرف انرژی و مقاومت هیدرودینامیکی شناورهای تندرو را کاهش داد؟

کاربرد روش‌های پیشرفته دینامیک سیالات محاسباتی، مانند مدل‌های آشفتگی LES و RANS ، در کنار الگوریتم‌های فراابتکاری نظیر الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات، امکان تحلیل دقیق الگوهای جریان پیرامون شناورها و شناسایی نواحی مؤثر بر پسا را فراهم می‌سازد. با تعریف تابع هدف بر مبنای کاهش نیروی کشش هیدرودینامیکی و مصرف سوخت، فرآیند بهینه‌سازی می‌تواند منجر به طراحی بهینه بدنه، موقعیت هیدروفویل و تنظیم مناسب المان‌هایی نظیر interceptor گردد. یافته‌های شبیه‌سازی نشان می‌دهند که این رویکرد می‌تواند کاهش پسا تا حدود ۲۵٪ و بهبود راندمان پیشرانه را به دنبال داشته باشد.

سؤال ۲: با توجه به نقشه علمی (شکل ۱) چه تأثیری استفاده از interceptors و hydrofoil بر کاهش نیروی کشش و بهبود عملکرد شناورها در شرایط موج‌دار دارد؟

استفاده از interceptor ها در انتهای عقب بدنه، با ایجاد نیروی بالابر بدون افزایش قابل توجه سطح تر شده، موجب کاهش trim زاویه‌ای و کاهش مقاومت موجی می‌شود. از سوی دیگر، به‌کارگیری hydrofoil در نواحی جلویی یا میانی، به شناور اجازه می‌دهد تا در سرعت‌های مشخصی از سطح آب جدا شده و نیروی برآی حاصل از آب را جایگزین نیروی شناوری کند، که منجر به کاهش drag می‌گردد. در شرایط موج‌دار، این ترکیب ضمن بهبود عملکرد هیدرودینامیکی، پایداری حرکتی و مقاومت در برابر slamming را نیز بهبود می‌بخشد.

سؤال ۳: با توجه به نقشه علمی (شکل ۱) چگونه می‌توان عملکرد شناورهای تندرو را در شرایط دریای متلاطم با استفاده از مدل‌های عددی و الگوریتم‌های پیش‌بینی عملکرد، ارزیابی کرد؟

ترکیب مدل‌سازی عددی بر پایه دینامیک سیالات محاسباتی و مدل‌های دینامیکی شش درجه آزادی (6-DOF)، امکان شبیه‌سازی دقیق حرکت شناور در شرایط دریای متلاطم را فراهم می‌آورد. با وارد کردن طیف موج‌های تصادفی مطابق با مدل‌های تجربی نظیر Pierson-Moskowitz، و استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین برای تحلیل خروجی‌های شبیه‌سازی شتاب، زاویه pitch و heave ، می‌توان سامانه‌ای هوشمند برای

پیش‌بینی عملکرد شناور طراحی نمود. این رویکرد نه‌تنها باعث افزایش دقت پیش‌بینی می‌شود، بلکه امکان تصمیم‌گیری در زمان واقعی برای کنترل حرکت و پایداری را نیز فراهم می‌سازد.

سؤال ۴: با توجه به نقشه علمی (شکل ۱) رابطه بین طراحی بدنه و پدیده‌هایی مثل slamming ، fatigue و پایداری شناورها چیست و چگونه می‌توان آن را بهینه‌سازی کرد؟

طراحی بدنه تأثیر مستقیم بر انتقال نیروهای هیدرودینامیکی به سازه و رفتار دینامیکی شناور دارد. فرم‌های پله‌دار[۱۳] یا V شکل می‌توانند انرژی برخورد با موج را کاهش دهند و slamming را محدود نمایند. با تحلیل تنش‌های سیکلی ناشی از حرکات نوسانی، می‌توان عمر خستگی اجزا را تخمین زد. بهینه‌سازی چندهدفه با هدف کاهشslamming ، افزایش پایداری عرضی و بهینه‌سازی نسبت طول به عرض (L/B ratio) ، از طریق شبیه‌سازی‌های ترکیبی CFD-FEM و الگوریتم‌های هوشمند، امکان‌پذیر است.

سؤال ۵: با توجه به نقشه علمی (شکل ۱) استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک برای بهینه‌سازی شکل بدنه شناور تا چه میزان می‌تواند موجب کاهش نیروی کشش شود؟

الگوریتم‌های ژنتیک به‌عنوان یکی از مؤثرترین روش‌های بهینه‌سازی پارامترهای چندمتغیره، قادرند با جستجوی فضای طراحی گسترده، فرم‌های بدنه‌ای با کمترین نیروی کشش را شناسایی کنند. در آزمایش‌های شبیه‌سازی‌شده، کاهش پسا در حدود ۱۸ تا ۳۰ درصد بسته به شرایط جریان و طراحی اولیه گزارش شده است. انتخاب پارامترهای کلیدی مانند زاویه dead-rise، نسبت طول به عرض، و منحنی خطوط بدنه، در موفقیت این روش نقش حیاتی دارند.

سؤال ۶: با توجه به نقشه علمی (شکل ۱) چه فناوری‌هایی می‌توانند جایگزین موتورهای دیزلی در شناورهای تندرو شوند تا بازده انرژی افزایش و آلایندگی کاهش یابد؟

فناوری‌های جایگزین شامل پیشرانه‌های هیبریدی (الکتریکی-دیزلی)، موتورهای پیل سوختی (Fuel Cell) ، و سیستم‌های پیشرانش کاملا الکتریکی مبتنی بر باتری‌های لیتیوم-یونی یا لیتیوم-گوگرد هستند. این سامانه‌ها با بهره‌گیری از مدیریت انرژی هوشمند و کاهش تلفات گرمایی، بازده کلی را تا ۳۰٪ نسبت به سامانه‌های دیزلی افزایش می‌دهند. همچنین، کاهش چشمگیر آلاینده‌هایی نظیر NOx و CO_2 آن‌ها را برای استفاده در مناطق حفاظت‌شده دریایی مناسب ساخته است.

پیشرفت‌های اخیر در حوزه پیل‌های سوختی PEM و پیل‌های با دمای بالا نویدبخش جایگزینی کامل سوخت‌های فسیلی در آینده‌ای نزدیک می‌باشد.

سؤال ۷: با توجه به نقشه علمی (شکل ۱)استفاده از پیشرانه‌های الکتریکی یا هیبریدی در شناورهای تندرو از نظر عملیاتی، اقتصادی و محیط‌زیستی چه مزایا و چالش‌هایی دارد؟

از منظر عملیاتی، پیشرانه‌های الکتریکی عملکرد نرم‌تر، کاهش نویز و پاسخ دینامیکی بهتری نسبت به موتورهای احتراقی دارند. از جنبه اقتصادی، هرچند هزینه اولیه سرمایه‌گذاری بالاتر است. در بُعد زیست‌محیطی، کاهش قابل توجه آلایندگی هوا و آلودگی صوتی مهم‌ترین مزیت است. با این حال، چالش‌هایی همچون وزن و حجم زیاد باتری‌ها، نیاز به زیرساخت‌های شارژ و محدودیت برد عملیاتی، همچنان موانعی در مسیر تجاری‌سازی گسترده به شمار می‌روند.

سؤال ۸: با توجه به نقشه علمی (شکل ۱) چگونه می‌توان با استفاده از روش‌های آینده‌پژوهی، مسیرهای محتمل توسعه فناوری شناورهای تندرو را در افق ۲۰۳۵ شناسایی کرد؟

استفاده از رویکردهای آینده‌پژوهی نظیر تحلیل روند، روش دلفی، سناریوپردازی و نقشه راه فناوری از روش‌های مؤثر در پیش‌بینی مسیرهای توسعه است. این روش‌ها با تحلیل داده‌های تاریخی، مصاحبه با خبرگان و مدل‌سازی عدم‌قطعیت‌ها، چشم‌اندازهایی از وضعیت‌های محتمل آینده ارائه می‌دهند. در حوزه شناورهای تندرو، سناریوهایی شامل تحول کامل به پیشرانه‌های الکتریکی، ادغام سامانه‌های کنترل خودکار و هوشمند، قابل پیش‌بینی‌اند. این سناریوها، راهنمایی مؤثر در تدوین

[13] stepped

سیاست‌ها، سرمایه‌گذاری تحقیقاتی و طراحی سیستم‌های آینده فراهم می‌سازند.

مبانی و منطق انتخاب سؤالات پژوهشی در مورد شکل ۲- نقشه شبکه‌ای کلمات کلیدی مرتبط با شناورهای تندرو در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۲۴:

۱-شناخت موضوعات اصلی: سوالاتی که درباره اندازه گره‌ها پرسیده می‌شوند، برای شناسایی مفاهیم پرتکرار و محوری حوزه هستند. دانستن این مفاهیم اولین گام برای فهمیدن این است که پژوهش‌ها در این زمینه عمدتا روی چه موضوعاتی تمرکز دارند.

۲-درک ساختار حوزه (اهمیت خوشه‌های رنگی): سوالات مربوط به خوشه‌ها و رنگ‌ها کمک می‌کنند تا زیرشاخه‌ها و موضوعات مرتبط در حوزه علمی مرتبط با شناورهای تندرو را کشف کنیم. این نشان می‌دهد که حوزه پژوهشی به چند بخش اصلی تقسیم می‌شود و هر بخش چه مفاهیم خاص خود را دارد. این مانند دیدن سرفصل‌های اصلی یک کتاب بزرگ برای درک محتوای آن است.

۳-ردیابی تحولات در طول زمان (اهمیت طیف رنگی زمان): سوالات مربوط به رنگ گره‌ها و طیف زمانی، حیاتی‌ترین بخش تحلیل فناوری‌های جدید و مرزدانشی در حوزه شناورهای تندرو است. این سوالات مشخص می‌کنند کدام موضوعات در گذشته مورد توجه بوده‌اند و کدام موضوعات در حال حاضر داغ هستند یا در حال ظهورند. این درک زمانی برای شناسایی روندهای پژوهشی و پیش‌بینی مسیر آینده حوزه بسیار مهم است.

کشف جزئیات و نقاط کمتر دیده شده (اهمیت گره‌های کوچکتر و حاشیه‌ای): سوالاتی که به گره‌های کوچکتر یا موقعیت آن‌ها در نمودار می‌پردازند کمک می‌کنند تا از تمرکز بر کلیات فراتر رفته و موضوعات تخصصی‌تر، کمتر بررسی شده، یا در حال شکل‌گیری را مشخص نمود.

سوال اول: با توجه به نقشه علمی (شکل ۲) چگونه می‌توان با توسعه مدل‌های پیشرفته یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی عمیق، فرآیندهای بهینه‌سازی چندهدفه طراحی بدنه (Multi-objective Hull Design Optimization) و پیش‌بینی آنی عملکرد (Real-time Performance Prediction) شناورهای تندرو را در شرایط عملیاتی مختلف (مانند امواج نامنظم) بهبود بخشید؟

پاسخ به این سؤال مستلزم توسعه چارچوب‌های نوین مبتنی بر هوش مصنوعی برای غلبه بر چالش‌های محاسباتی و پیچیدگی‌های ذاتی طراحی و پیش‌بینی عملکرد شناورهای تندرو است. پژوهش می‌تواند بر محورهای زیر متمرکز شود:

الف) توسعه مدل‌های جایگزین (Surrogate Models): استفاده از شبکه‌های عصبی عمیق یا سایر مدل‌های یادگیری ماشین برای ساخت مدل‌های جایگزین دقیق و سریع برای شبیه‌سازی‌های زمان‌بر CFD یا روش‌های عددی پیچیده. این مدل‌های جایگزین قابلیت ارزیابی سریع عملکرد هندسه‌های مختلف بدنه را در فرآیندهای بهینه‌سازی فراهم می‌کنند.

ب) الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه مبتنی بر هوش مصنوعی: ترکیب مدل‌های جایگزین با الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی (نظیر NSGA-III یا روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر یادگیری تقویتی (Reinforcement Learning)برای کاوش فضای طراحی و یافتن مجموعه جواب‌های بهینه پارتو (Pareto Optimal Solutions) با در نظر گرفتن اهداف متضاد طراحی (مانند حداقل کردن درگ، حداکثر کردن پایداری، بهینه کردن قابلیت دریانوردی).

ج) مدل‌های پیش‌بینی آنی عملکرد: آموزش مدل‌های سری‌های زمانی (مانند LSTM یا GRU) یا مدل‌های رگرسیون پیشرفته با استفاده از داده‌های حاصل از آزمایشات میدانی یا شبیه‌سازی‌های دینامیکی شناور در شرایط امواج نامنظم برای پیش‌بینی آنی پارامترهایی نظیر شتاب‌ها، نیروها و مصرف انرژی. اعتبارسنجی این مدل‌ها با داده‌های مستقل جهت اطمینان از قابلیت تعمیم‌پذیری آن‌ها در شرایط عملیاتی پیش‌بینی نشده حیاتی است.

سوال دوم: با توجه به نقشه علمی (شکل ۲) چگونه نسل بعدی الگوریتم‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین عمیق، قابلیت‌های تصمیم‌گیری مستقل، ناوبری تطبیقی و مدیریت ریسک را در شناورهای تندرو تماماً خودکار در محیط‌های دریایی پیچیده و غیرقابل پیش‌بینی متحول خواهند کرد؟

پیشبرد هوش مصنوعی برای دستیابی به سطوح بالاتر استقلال در شناورهای تندرو متمرکز است. تحقیقات می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

استفاده از شبکه‌های عصبی عمیق برای ترکیب و تفسیر داده‌های آنی از طیف وسیعی از حسگرها (رادار، لیدار، دوربین‌های مرئی و حرارتی، سونار) برای ایجاد یک مدل سه‌بعدی دقیق و جامع از محیط اطراف شناور، شناسایی و ردیابی اهداف و موانع در شرایط مختلف محیطی (مه، باران، امواج بلند) و توسعه چارچوب‌های تصمیم‌گیری مبتنی بر یادگیری تقویتی عمیق یا منطق فازی تطبیقی که به شناور خودکار اجازه می‌دهد تا در مواجهه با شرایط پیش‌بینی نشده (تغییرات ناگهانی آب و هوا، ظهور موانع متحرک) به صورت ایمن و کارآمد واکنش نشان داده، مسیر خود را در لحظه بازنگری کرده و قواعد پیچیده دریانوردی را رعایت نماید.همچنین توسعه مدل‌های پیش‌بینی ریسک که با استفاده از داده‌های عملیاتی و محیطی، احتمال وقوع حوادث (تصادف، برخورد، واژگونی) را در سناریوهای مختلف ارزیابی کرده و سیستم کنترل را برای اتخاذ اقدامات پیشگیرانه هدایت نمایند. این شامل یادگیری از تجربیات گذشته و تطبیق با شرایط جدید است. توسعه روش‌ها و استانداردهایی برای اطمینان از ایمنی و قابلیت اطمینان الگوریتم‌های هوش مصنوعی در محیط‌های عملیاتی واقعی، که یک چالش بزرگ در مسیر توسعه شناورهای کاملاً خودکار است.

سوال سوم: با توجه به نقشه علمی (شکل ۲) چگونه پیشرفت‌ها در مواد پیشرفته (مانند کامپوزیت‌های سبک‌وزن با استحکام بالا، مواد هوشمند) و روش‌های ساخت نوین (مانند پرینت سه‌بعدی) می‌توانند به طراحی سازه‌های شناورهای تندرو با نسبت استحکام به وزن بی‌سابقه، مقاومت بالا در برابر خستگی و ضربه، و قابلیت‌های تطبیقی در مواجهه با بارهای دینامیکی شدید منجر شوند؟

مطالعات در حوزه مواد و سازه‌های نسل جدید برای شناورهای تندرو، به‌ویژه با تمرکز بر افزایش نسبت استحکام به وزن و بهبود عملکرد دینامیکی، یکی از مرزهای کلیدی دانش در مهندسی دریا محسوب می‌شود. این خط مقدم پژوهش بر نوآوری در مبانی سازه‌ای این شناورها استوار است و رویکردی چندوجهی را طلب می‌کند. در گام نخست، پژوهش بر مدل‌سازی و مشخصه‌یابی مواد کامپوزیت پیشرفته متمرکز می‌شود. این حوزه شامل تحقیقات عمیق بر روی رفتار مکانیکی مواد کامپوزیت نوین، از جمله کامپوزیت‌های تقویت‌شده با نانولوله‌ها یا الیاف پیشرفته با ماتریس‌های پلیمری با خواص بهبودیافته، تحت شرایط بارگذاری دینامیکی بالا، سیکل‌های خستگی دریایی و محیط خورنده دریا است. هدف این است که با توسعه مدل‌های تخریب پیشرفته، قابلیت اطمینان در پیش‌بینی عمر باقیمانده سازه تحت این شرایط پیچیده افزایش یابد. در ادامه، طراحی سازه‌های سبک‌وزن با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی توپولوژی اهمیت می‌یابد. در این راستا، تکنیک‌های بهینه‌سازی توپولوژی و شکل‌دهی برای دستیابی به طرح‌های بدنه و روبنا با حداقل وزن ممکن در عین حفظ یا افزایش حداکثر استحکام و سختی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اعمال محدودیت‌های فرآیندهای ساخت واقعی در این فرآیند بهینه‌سازی، جهت اطمینان از قابلیت تولید طرح‌های پیشنهادی، حیاتی است. یکی دیگر از جنبه‌های نوآورانه، بررسی کاربرد مواد هوشمند و توسعه سازه‌های تطبیقی است. تحقیق در خصوص امکان استفاده از موادی با قابلیت‌های پاسخگویی فعال (مانند پیزوالکتریک‌ها یا آلیاژهای حافظه‌دار شکلی) یا طراحی سازه‌هایی با قابلیت تغییر شکل یا سختی کنترل‌شده (نظیر فلپ‌های فعال سازه‌ای یا پنل‌هایی با سختی قابل تنظیم) برای میرایی ارتعاشات، جذب مؤثر انرژی ضربه ناشی ازSlamming و بهبود کلی پاسخ سازه‌ای به بارهای دینامیکی متغیر، در این بخش قرار می‌گیرد. همچنین، روش‌های ساخت افزایشی (پرینت سه‌بعدی) برای تولید قطعات سازه‌ای پیچیده به عنوان یک فناوری نوظهور مورد بررسی قرار می‌گیرد. قابلیت‌ها و محدودیت‌های استفاده از پرینت سه‌بعدی فلزات یا پلیمرهای با کارایی بالا برای ساخت قطعات سازه‌ای با هندسه‌های پیچیده و سبک‌وزن که با روش‌های سنتی قابل تولید نیستند، همراه با چالش‌های مربوط به کنترل کیفیت، خواص مکانیکی قطعات در مقیاس بزرگ و استانداردسازی فرآیند، محور تحقیق در این حوزه است. نهایتاً، تحلیل سازه‌ای پیشرفته برای بارهای غیرمتعارف بخش جدایی‌ناپذیر این پژوهش است. این شامل توسعه مدل‌های المان محدود پیشرفته برای تحلیل دقیق پاسخ دینامیکی سازه به بارهای ضربه‌ای

بسیار شدید ناشی ازSlamming ، بارهای ناشی از انفجار (در کاربردهای دفاعی)، و تحلیل دقیق رفتار سازه تحت بارگذاری خستگی درازمدت در محیط خورنده دریایی با در نظر گرفتن اثرات کوپلینگ سیال-سازه و هوا است. در مجموع، پژوهش در این حوزه با تلفیق دانش مواد پیشرفته، روش‌های طراحی بهینه، فناوری‌های ساخت نوین و تکنیک‌های تحلیل سازه‌ای پیشرفته، به دنبال پیشبرد قابلیت‌های سازه‌ای شناورهای تندرو برای پاسخگویی به نیازهای عملکردی و ایمنی در سرعت‌های بالا و شرایط عملیاتی چالش‌برانگیز آینده است.

سوال چهارم: با توجه به نقشه علمی (شکل ۲) مرزهای فعلی دانش در مدل‌سازی و پیش‌بینی رفتار هیدرودینامیکی و آیرودینامیکی (در صورت وجود بخش‌هایی بالای آب) شناورهای تندرو در سرعت‌های فراصوتی روی آب کدامند و چه روش‌های عددی یا تجربی نوینی برای بررسی پدیده‌های پیچیده مانند کاویتاسیون، اثرات سطح آزاد غیرخطی و تداخل بدنه/هوا در این رژیم‌های سرعت بالا مورد نیاز است؟

مدل‌سازی و پیش‌بینی دقیق رفتار هیدرودینامیکی و آیرودینامیکی شناورهای تندرو در رژیم‌های سرعت بسیار بالا، که ممکن است به سرعت‌های فراصوتی نسبت به آب نیز نزدیک شوند، یکی از چالش‌برانگیزترین مرزهای فعلی دانش در مهندسی دریا و سیالات است. در این سرعت‌ها، پدیده‌های فیزیکی پیچیده و غالباً غیرخطی به صورت برجسته ظاهر می‌شوند که مدل‌های تحلیلی و عددی سنتی برای بررسی آن‌ها با محدودیت‌های جدی مواجه‌اند. از جمله این پدیده‌ها می‌توان به توسعه گسترده کاویتاسیون بر روی پروانه‌ها، هیدروفویل‌ها و بخش‌هایی از بدنه، رفتار بسیار دینامیک و غیرخطی سطح آزاد همراه با پاشش شدید و هواگرفتگی، و همچنین تأثیر قابل توجه نیروهای آیرودینامیکی و تداخل پیچیده بین جریان آب و هوا در اطراف بدنه اشاره کرد. در حال حاضر، مرزهای دانش در این حوزه بر توسعه و اعتبارسنجی روش‌های نوین عددی و تجربی متمرکز است. از منظر عددی، نیاز مبرمی به پیشبرد قابلیت‌های شبیه‌سازی‌های دینامیک سیالات محاسباتی برای مدل‌سازی دقیق پدیده‌های چندفازی (آب، هوا، بخار کاویتاسیون) با قابلیت حل آشفتگی در سرعت‌های بالا وجود دارد. این امر مستلزم توسعه مدل‌های آشفتگی پیشرفته و الگوریتم‌های حل‌کننده با وضوح بالا برای پدیده‌های سطح آزاد و کاویتاسیون گذرا است. علاوه بر این، مدل‌سازی کوپل شده هیدرودینامیک و آیرودینامیک برای ثبت دقیق نیروهای وارد بر شناور از هر دو محیط و تداخل آن‌ها در سرعت‌های بالا حیاتی است. از بعد تجربی، نیاز به توسعه تکنیک‌های اندازه‌گیری نوین در تأسیسات آزمایشگاهی تخصصی (مانند حوضچه‌های کشش پرسرعت یا تونل‌های کاویتاسیون) وجود دارد تا امکان اندازه‌گیری دقیق نیروها، فشارها، و ساختارهای جریان پیچیده (نظیر الگوهای کاویتاسیون و شکل سطح آزاد) در سرعت‌های بسیار بالا فراهم شود. اعتبارسنجی مدل‌های عددی توسعه‌یافته با استفاده از این داده‌های تجربی دقیق، به همراه تحلیل عدم قطعیت سیستماتیک، برای اطمینان از قابلیت اطمینان ابزارهای پیش‌بینی‌کننده ضروری است. پیشبرد این مرزهای دانشی برای طراحی بهینه بدنه‌ها، سیستم‌های پیشرانش، و سطوح کنترلی شناورهای تندرو نسل آینده، و همچنین پیش‌بینی دقیق عملکرد و بارهای وارد بر سازه در رژیم‌های عملیاتی حدی آن‌ها اهمیت بنیادین دارد.

سوال پنجم: با توجه به نقشه علمی (شکل ۲) چگونه ادغام داده‌های آنی از آرایه‌های حسگر چندوجهی (شامل حسگرهای بصری، حرارتی، راداری، لیداری و صوتی) با تکنیک‌های پیشرفته همجوشی داده و هوش مصنوعی می‌تواند درک محیطی شناورهای تندرو را در شرایط چالش‌برانگیز (مانند دید محدود، ترافیک سنگین، تشخیص اهداف کوچک) به طور قابل توجهی ارتقا دهد؟

افزایش سرعت عملیاتی شناورهای تندرو، همراه با حرکت به سمت سطوح بالاتر خودکارسازی و عملیات در محیط‌های دریایی پیچیده و پرترافیک، نیاز به درک محیطی بی‌سابقه‌ای را ایجاد کرده است. درک دقیق و قابل اعتماد از محیط اطراف برای ناوبری ایمن، اجتناب از برخورد مؤثر و انجام مأموریت‌های موفق حیاتی است. با این حال، محیط دریایی ذاتاً چالش‌برانگیز است؛ شرایط متغیر آب و هوایی، دید محدود ناشی از مه، باران یا شب، وجود امواج و پاشش آب، و حضور همزمان تعداد زیادی از

اهداف ایستا و متحرک با ابعاد و ویژگی‌های مختلف، قابلیت‌های حسگرهای منفرد را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. حسگرهای سنتی نظیر رادار و سیستم‌های ناوبری مبتنی برGNSS ، اطلاعات ارزشمندی در خصوص موقعیت و حرکت اجسام ارائه می‌دهند، اما محدودیت‌هایی در تشخیص اهداف کوچک، عملکرد در دید محدود، و درک جزئیات محیط دارند. حسگرهای بصری (دوربین‌های مرئی و حرارتی) اطلاعات غنی تصویری فراهم می‌کنند اما به شدت به شرایط نوری و جوی وابسته هستند. لیدار اطلاعات دقیق فاصله‌سنجی ارائه می‌دهد اما ممکن است تحت تأثیر باران شدید یا مه غلیظ قرار گیرد، و حسگرهای صوتی (سونار) برای درک محیط زیر آب مناسب هستند اما محدودیت‌هایی در فضای بالای آب دارند. برای غلبه بر محدودیت‌های حسگرهای منفرد و دستیابی به یک درک محیطی جامع، مقاوم و قابل اعتماد، ادغام داده‌های حاصل از آرایه‌های حسگر چندوجهی ضروری است. این رویکرد با ترکیب داده‌های مکملی از حسگرهای مختلف (نظیر بصری، حرارتی، رادار، لیدار، و صوتی)، امکان دریافت اطلاعات کامل‌تر و دقیق‌تر از محیط را در طیف وسیعی از شرایط فراهم می‌آورد. تکنیک‌های پیشرفته همجوشی داده در سطوح مختلف (از همجوشی داده‌های خام حسگرها تا همجوشی ویژگی‌ها و اشیاء شناسایی شده) برای ترکیب مؤثر این جریان‌های داده ناهمگن مورد نیاز است. در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های چشمگیر در حوزه هوش مصنوعی، به ویژه یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی عمیق، پتانسیل عظیمی برای ارتقاء قابلیت‌های درک محیطی مبتنی بر همجوشی داده نشان داده‌اند. الگوریتم‌های یادگیری عمیق قادر به یادگیری خودکار ویژگی‌های پیچیده از داده‌های حجیم و چندوجهی هستند و می‌توانند برای وظایفی نظیر تشخیص و طبقه‌بندی دقیق اشیاء، ردیابی همزمان اهداف متعدد، بازسازی سه‌بعدی محیط، و حتی پیش‌بینی رفتار اهداف متحرک به کار روند. با استفاده از این تکنیک‌ها، می‌توان از داده‌های همجوشی شده برای ایجاد یک مدل ادراکی غنی و با جزئیات بالا از محیط اطراف شناور بهره برد که بسیار مقاوم‌تر از سیستم‌های مبتنی بر حسگرهای منفرد یا تکنیک‌های همجوشی سنتی است. بنابراین، پژوهش در این حوزه بر توسعه و ارزیابی چارچوب‌های نوین همجوشی داده‌های چندوجهی مبتنی بر هوش مصنوعی متمرکز است. هدف، طراحی الگوریتم‌ها و معماری‌هایی است که بتوانند داده‌های آنی از آرایه‌های حسگر پیشرفته را به صورت هوشمندانه ترکیب کرده و درک محیطی شناورهای تندرو را در شرایط چالش‌برانگیز عملیاتی به طور قابل توجهی ارتقا دهند. دستیابی به این هدف، سنگ بنای حیاتی برای توسعه موفقیت‌آمیز شناورهای تندرو تماماً خودکار و افزایش ایمنی و کارایی عملیات دریایی در آینده خواهد بود.

سوال ششم: با توجه به نقشه علمی (شکل ۲) با افزایش سطح خودکارسازی در شناورهای تندرو، نقش خدمه انسانی چگونه تغییر خواهد کرد و بهترین رویکردها برای طراحی رابطهای انسان و ماشین و سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری برای اطمینان از ایمنی، کارایی و اعتماد متقابل در این سیستم‌های پیچیده کدامند؟

روندهای کنونی در توسعه شناورهای تندرو به سمت افزایش قابل توجه سطوح خودکارسازی پیش می‌رود؛ امری که پیامدهای عمیقی بر نقش سنتی خدمه انسانی در عرشه دارد. با واگذاری وظایف کنترلی و نظارتی روتین به سیستم‌های خودکار، نقش خدمه از اپراتورهای فعال به ناظران، تصمیم‌گیرندگان سطح بالا و مدیران سیستم‌های پیچیده تغییر می‌یابد. این تحول، چالش‌های جدیدی را در حوزه تعامل انسان و ماشین[14] و طراحی سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری مطرح می‌سازد. در این راستا، پژوهش‌های آتی می‌بایست بر طراحی رابطهای انسان و ماشینی متمرکز شوند که ضمن ارائه تصویری واضح و جامع از وضعیت لحظه‌ای شناور و محیط اطراف (حتی در شرایط چالش‌برانگیز و پویا)، قابلیت درک وضعیت عملکرد سیستم‌های خودکار و دلایل تصمیم‌گیری آن‌ها را برای خدمه فراهم آورند. رابطهای کاربری نسل جدید باید به گونه‌ای طراحی شوند که از خارج شدن از حلقه کنترل و کاهش هوشیاری خدمه در طول دوره‌های طولانی خودکارسازی جلوگیری کرده و امکان مداخله دستی سریع، ایمن و شهودی را در مواقع ضروری فراهم آورند. علاوه بر این، توسعه سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری

[14] Human-Machine Interaction - HMI

هوشمند امری حیاتی است. این سیستم‌ها با بهره‌گیری از الگوریتم‌های پیشرفته تحلیل داده و هوش مصنوعی، می‌بایست قادر به پردازش اطلاعات پیچیده از حسگرهای مختلف، ارزیابی سناریوهای محتمل و ارائه پیشنهادهای راهبردی به خدمه برای اتخاذ تصمیمات بهینه در شرایط عملیاتی دشوار یا اضطراری باشند. هدف، تقویت توانمندی‌های شناختی خدمه و نه جایگزینی کامل قضاوت انسانی است. حفظ اعتماد متقابل میان خدمه و سیستم‌های خودکار یکی از ارکان اصلی دستیابی به ایمنی و کارایی عملیاتی در سیستم‌های با خودکارسازی بالاست. پژوهش در این زمینه نیازمند بررسی عوامل روان‌شناختی و طراحی سیستم‌هایی است که شفافیت در عملکرد، قابلیت پیش‌بینی‌پذیری و رفتاری قابل اتکا را به نمایش بگذارند. نهایتا، تطبیق برنامه‌های آموزشی و توسعه شایستگی‌های خدمه برای ایفای نقش‌های جدید خود در محیط‌های عملیاتی دگرگون شده، امری ضروری است که می‌بایست همگام با پیشرفت فناوری‌های خودکارسازی مورد توجه قرار گیرد. بررسی این جنبه‌ها در کنار توسعه فناوری‌های خودکارسازی، برای اطمینان از گذار موفق به نسل آینده شناورهای تندرو کاملاً خودکار، حیاتی خواهد بود.

سوال هفتم: با توجه به نقشه علمی (شکل ۲) چگونه استفاده از مدل‌های دوقلوی دیجیتال پیشرفته، که به صورت آنی با داده‌های عملیاتی همگام‌سازی می‌شوند، می‌تواند فرآیندهای طراحی، تست مجازی، آموزش خدمه، نگهداری پیش‌بینانه و بهینه‌سازی عملیاتی شناورهای تندرو را در طول چرخه حیات آن‌ها متحول سازد؟

با توجه به پیچیدگی فزاینده شناورهای تندرو و نیاز به مدیریت بهینه در سراسر چرخه حیات آن‌ها، مدل‌های دوقلوی دیجیتال به عنوان یک فناوری مرز دانشی، پتانسیل تحول‌آفرینی در فرآیندهای مهندسی و عملیاتی را ارائه می‌دهند. دوقلوی دیجیتال، یک نمونه مجازی پویا از شناور فیزیکی است که با استفاده از داده‌های حسگر آنی، مدل‌های شبیه‌سازی دقیق و الگوریتم‌های تحلیل پیشرفته، وضعیت لحظه‌ای و رفتار آتی شناور را منعکس و پیش‌بینی می‌کند. استفاده از دوقلوهای دیجیتال پیشرفته می‌تواند فرآیندهای طراحی را با امکان نمونه‌سازی مجازی سریع، ارزیابی عملکرد در شرایط مختلف عملیاتی و بهینه‌سازی تکرارشونده طرح پیش از ساخت فیزیکی تسریع و بهبود بخشد. در مرحله تست مجازی، دوقلوی دیجیتال محیطی واقع‌گرایانه برای شبیه‌سازی سناریوهای پیچیده و حدی فراهم می‌آورد که تکرار آن‌ها در دنیای واقعی پرهزینه یا خطرناک است؛ بدین ترتیب، قابلیت‌های شناور تحت شرایط مختلف قبل از بهره‌برداری نهایی قابل ارزیابی دقیق خواهد بود. در حوزه آموزش خدمه، دوقلوی دیجیتال یک پلتفرم شبیه‌سازی همه‌جانبه و واقع‌گرایانه ایجاد می‌کند. خدمه می‌توانند با سیستم‌های شناور در محیطی امن تمرین کرده، با پاسخ شناور به فرمان‌ها و شرایط محیطی آشنا شوند و رویه‌های اضطراری را در سناریوهای شبیه‌سازی شده که با وضعیت واقعی شناور منطبق است، تجربه نمایند؛ این امر آمادگی و شایستگی خدمه را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. اثرگذارترین کاربرد دوقلوی دیجیتال در نگهداری پیش‌بینانه و بهینه‌سازی عملیاتی در طول فاز بهره‌برداری شناور است. با همگام‌سازی آنی دوقلوی دیجیتال با داده‌های عملیاتی (شامل داده‌های عملکرد، وضعیت اجزاء، شرایط محیطی)، الگوریتم‌های تحلیل پیشرفته (مانند یادگیری ماشین) می‌توانند وضعیت سلامت اجزاء حیاتی را پایش، فرسودگی یا خرابی‌های احتمالی را پیش‌بینی و زمان‌بندی فعالیت‌های نگهداری را بهینه کنند. این امر نه تنها از بروز خرابی‌های پرهزینه و توقف‌های ناخواسته جلوگیری می‌کند، بلکه قابلیت اطمینان عملیاتی را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، دوقلوی دیجیتال امکان پایش آنی عملکرد شناور را فراهم کرده و با شبیه‌سازی سناریوهای مختلف (مانند تغییر سرعت، مسیر، یا تنظیمات سیستم)، به اپراتورها در اتخاذ تصمیمات بهینه برای حداکثر کردن بازدهی سوخت، کاهش آلایندگی یا بهبود قابلیت دریانوردی در شرایط متغیر یاری می‌رساند. این توانایی در پیش‌بینی پیامدهای تصمیمات عملیاتی، مدیریت شناورهای تندرو را به سطحی نوین ارتقا می‌دهد. به طور خلاصه، دوقلوی دیجیتال با ایجاد پیوندی پویا بین دنیای فیزیکی و مجازی، فرآیندهای کلیدی در چرخه حیات شناورهای تندرو را متحول ساخته و منجر به طراحی بهتر، تست کارآمدتر، آموزش مؤثرتر و عملیات بهینه‌تر و قابل اطمینان‌تر می‌شود.

سوال هشتم: با توجه به نقشه علمی (شکل ۲) تمرکزهای پژوهشی اصلی و موضوعات فعال کنونی در حوزه شناورهای تندرو، بر اساس فراوانی و مرکزیت کلمات کلیدی در نقشه، کدامند؟

اندازه گره‌ها در نقشه که نمایانگر بسامد کلمات کلیدی در مجموعه داده است، نشان‌دهنده موضوعات کانونی و فعال‌ترین حوزه‌های پژوهشی است. کلماتی نظیر performance، hydrodynamics، CFD، design و simulation به دلیل اندازه بزرگ گره‌هایشان و تراکم بالا در خوشه‌های مربوطه، به عنوان تمرکزهای اصلی و مستمر پژوهش در این حوزه مشخص می‌شوند. این نشان می‌دهد که مباحث بنیادی مربوط به فهم رفتار شناور و ابزارهای اصلی تحلیل مهندسی همچنان از اهمیت بالایی برخوردارند. با این حال، رشد و برجستگی کلمات کلیدی مرتبط با فناوری‌های نوظهور و خوشه‌های جدیدتر، تأکید می‌کند که تمرکز پژوهشی به طور فزاینده‌ای به سمت ادغام این فناوری‌ها برای بهبود عملکرد، افزایش پایداری و توسعه قابلیت‌های جدید در شناورهای تندرو معطوف شده است، که این حوزه‌ها را به کانون‌های فعالیت پژوهشی در حال حاضر و آینده نزدیک تبدیل می‌سازد.

مبانی و منطق انتخاب سؤالات پژوهشی در مورد شکل ۳- نقشه چگالی و تمرکز فناوری مرتبط با شناورهای تندرو

منطق نهفته در طرح سوالات کلیدی حول این شکل، با هدف استخراج حداکثر اطلاعات معنادار از بصری‌سازی تراکم موضوعی صورت می‌پذیرد. تحلیل نقشه چگالی گامی حیاتی در فهم منظر پژوهشی یک حوزه است، چرا که این نقشه توزیع فضایی کلمات کلیدی و شدت هم‌وقوعی آن‌ها را نشان می‌دهد. پرسش‌های مطرح‌شده در این زمینه، بر مبنای تفسیر لایه‌های اطلاعاتی نهفته در این بصری‌سازی بنا نهاده شده‌اند:

شناسایی کانون‌های اصلی پژوهش از طریق تحلیل مناطق با چگالی بالا: منطق در این بخش بر این اصل استوار است که مناطق با چگالی بالا، که با رنگ‌های گرم‌تر (اغلب قرمز یا نارنجی) نمایش داده می‌شوند، نمایانگر موضوعات یا خوشه‌های کلمات کلیدی هستند که بیشترین هم‌وقوعی و تکرار را در مجموعه مقالات تحلیل‌شده داشته‌اند. این تراکم بالا به منزله شاخصی از شدت فعالیت پژوهشی و تمرکز جامعه علمی بر روی این مباحث است. بنابراین، سوال در مورد این مناطق به ما امکان می‌دهد تا هسته‌های اصلی دانش موجود و پرطرفدارترین و فعال‌ترین زمینه‌های تحقیق در حوزه مورد بررسی (در اینجا، شناورهای تندرو) را شناسایی کنیم. این کانون‌ها غالبا شامل مفاهیم بنیادی، چالش‌های مهم یا روش‌شناسی‌هایی هستند که به طور گسترده‌ای در پژوهش‌های فعلی به کار گرفته می‌شوند.

تشخیص حوزه‌های کمتر فعال و شکاف‌های بالقوه دانش از طریق بررسی مناطق با چگالی پایین:در مقابل، مناطقی با چگالی پایین‌تر که با رنگ‌های سردتر (سبز یا آبی) مشخص شده‌اند، نشان‌دهنده نواحی هستند که کلمات کلیدی در آن‌ها هم‌وقوعی و تکرار کمتری دارند. منطق در اینجا این است که این کمبود تراکم می‌تواند دلالت بر حوزه‌های کمتر مورد توجه پژوهشگران، شکاف‌های موجود در دانش، یا موضوعاتی که هنوز در مراحل اولیه توسعه هستند، داشته باشد. پرسش در مورد این مناطق به ما کمک می‌کند تا مرزهای دانش فعلی را شناسایی کرده و فرصت‌های پژوهشی جدیدی را که کمتر مورد کاوش قرار گرفته‌اند، کشف کنیم. این مناطق می‌توانند بستر مناسبی برای طرح سوالات تحقیقاتی نوآورانه و پیش‌برنده باشند.

درک روابط و هم‌پوشانی‌های ضمنی از طریق تحلیل نزدیکی فضایی خوشه‌ها با چگالی بالا:حتی بدون خطوط ارتباطی صریح نقشه شبکه‌ای، نحوه قرارگیری فضایی خوشه‌ها یا مناطق با چگالی بالا نسبت به یکدیگر در نقشه چگالی حاوی اطلاعات ارزشمندی است. نزدیکی فیزیکی یا هم‌پوشانی این مناطق نشان‌دهنده هم‌وقوعی معنادار کلمات کلیدی در مرزهای دو یا چند خوشه است که مؤید وجود ارتباطات موضوعی قوی و فعالیت‌های پژوهشی میان‌رشته‌ای میان آن حوزه‌ها است. منطق در اینجا این است که تحلیل این نزدیکی‌ها به ما امکان می‌دهد تا درک کنیم چگونه مفاهیم و روش‌ها از یک زیرحوزه به زیرحوزه دیگر نفوذ کرده و پژوهش‌های بین‌رشته‌ای در کجای حوزه مورد نظر فعال‌تر هستند. این به ترسیم تصویر پویاتری از تعامل اجزاء مختلف حوزه کمک می‌کند.

رصد نشانه‌های ظهور موضوعات جدید از طریق شناسایی مناطق کوچک‌تر با چگالی در حال رشد:اگرچه شناسایی

مستقیم موضوعات نوظهور عمدتا از طریق تحلیل زمانی (مانند رنگ‌بندی در نقشه شبکه‌ای) صورت می‌گیرد، نقشه چگالی نیز می‌تواند نشانه‌هایی اولیه از ظهور را آشکار سازد. منطق در این بخش بر رصد تشکیل نقاط کوچک‌تر اما با چگالی قابل مشاهده در مناطق پیرامونی یا خارج از خوشه‌های اصلی استوار است. این نقاط می‌توانند نمایانگر حوزه‌های جدیدی باشند که فعالیت پژوهشی در آن‌ها به تازگی آغاز شده و در حال رشد است، حتی اگر هنوز به حجم و مرکزیت خوشه‌های قدیمی نرسیده باشند. تحلیل این نقاط به شناسایی روندهای آتی و مباحثی که پتانسیل تبدیل شدن به کانون‌های اصلی پژوهش در آینده را دارند، یاری می‌رساند.

سوال اول: با توجه به نقشه علمی (شکل ۳) کدام حوزه‌ها یا موضوعات در نقشه دارای بالاترین چگالی پژوهشی هستند و نشان‌دهنده فعال‌ترین زمینه‌های تحقیق می‌باشند؟

با مشاهده نقشه چگالی، مناطق با رنگ‌های قرمز و نارنجی که بالاترین شدت را نشان می‌دهند، معرف پرچگال‌ترین حوزه‌های پژوهشی هستند. این مناطق به وضوح حول خوشه‌های کلمات کلیدی زیر متمرکز شده‌اند. هیدرودینامیک و شبیه‌سازی: شامل کلماتی مانند هیدرودینامیک، دینامیک سیالات محاسباتی، مقاومت، درگ، شبیه‌سازی عددی، بدنه و هیدروفویل. این خوشه یک مرکز چگالی بسیار قوی را تشکیل می‌دهد. عملکرد و پدیده‌های مرتبط شامل کلماتی مانند عملکرد، پیش‌بینی، ضربه/تأثیر، کوبش/برخورد شدید با آب، خستگی و استحکام این حوزه نیز یک مرکز چگالی بالا را نشان می‌دهد که با خوشه هیدرودینامیک هم‌پوشانی قابل توجهی دارد.طراحی و شبیه‌سازی کلی شامل کلماتی مانند طراحی و شبیه‌سازی این منطقه نیز دارای چگالی بالایی است و به طور نزدیکی با خوشه‌های عملکرد و هیدرودینامیک CFD/مرتبط است. این مناطق پرچگال نشان می‌دهند که هسته اصلی و فعال‌ترین زمینه‌های پژوهش در حوزه شناورهای تندرو در حال حاضر بر روی درک و پیش‌بینی دقیق رفتار هیدرودینامیکی، تحلیل عملکرد و پدیده‌های دینامیکی شدید، و استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی و طراحی متمرکز است.

سوال دوم: با توجه به نقشه علمی (شکل ۳) کدام مناطق در نقشه چگالی پژوهشی کمتری دارند؟ آیا این نواحی معرف موضوعات کمتر کاوش شده، شکاف‌های دانشی یا زمینه‌هایی با پتانسیل بالا برای تحقیقات آینده هستند؟

مناطق با رنگ‌های سبز و آبی، نشان‌دهنده چگالی پژوهشی پایین‌تر هستند. این مناطق شامل حوزه‌های زیر می‌باشند. فناوری‌های نوظهور مانند renewable energy (انرژی تجدیدپذیر)، artificial intelligence (هوش مصنوعی)، target tracking (ردیابی هدف)، GPS (جی‌پی‌اس)، optimization (بهینه‌سازی)، systems (سیستم‌ها). ملاحظات زیست‌محیطی و رفتاری مانند sound disturbance (آلودگی صوتی)، noise patterns (الگوهای نویز). مدیریت و ریسک مانند مدیریت و ریسک.این نواحی با چگالی کمتر می‌توانند معرف موضوعاتی باشند که یا نسبتا جدید هستند و هنوز حجم انتشارات بالایی ندارند (موضوعات نوظهور)، یا کمتر از حوزه‌های اصلی مورد توجه قرار گرفته‌اند (شکاف‌های دانشی)، یا به دلیل چالش‌های خاص خود (نظیر نیاز به داده‌های میدانی گسترده یا پیچیدگی ذاتی) کمتر کار شده‌اند. این مناطق اغلب پتانسیل بالایی برای تحقیقات آتی و نوآوری در مرزهای دانش دارند. به عنوان مثال، خوشه‌های هوش مصنوعی و انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان موضوعات جدیدتر مشخص شده بودند، و چگالی کمتر آن‌ها در این نقشه تأییدی بر این است که حجم کلی پژوهش در آن‌ها هنوز به اندازه هسته اصلی حوزه نیست، اما در حال رشد است.

سوال سوم: با توجه به نقشه علمی (شکل ۳) آیا نزدیکی یا هم‌پوشانی فضایی میان خوشه‌های مختلف با چگالی بالا نشان‌دهنده ارتباطات قوی یا پژوهش‌های میان‌رشته‌ای فعال میان این حوزه‌ها است؟

بله، نزدیکی فضایی و به ویژه هم‌پوشانی مناطق با چگالی بالا در نقشه، به وضوح نشان‌دهنده ارتباطات قوی و فعالیت‌های پژوهشی میان‌رشته‌ای میان آن حوزه‌ها است. در این نقشه، هم‌پوشانی قابل توجهی میان مرکز چگالی Hydrodynamics/CFD/Resistance و مرکز چگالی Performance/Prediction/Impact و همچنین هم‌پوشانی

این دو با منطقه چگالی Design/Simulation دیده می‌شود. این امر نشان می‌دهد که پژوهش‌ها به طور فعال، هیدرودینامیک را برای پیش‌بینی و تحلیل عملکرد و پدیده‌های ضربه به کار می‌برند و نتایج شبیه‌سازی‌ها مبنای فرآیندهای طراحی قرار می‌گیرند. نزدیکی منطقه چگالی Slamming/Fatigue/Strength به این خوشه‌ها نیز ارتباط نزدیک میان تحلیل پدیده‌های دینامیکی شدید و طراحی سازه‌ای را تأیید می‌کند.

سوال چهارم: با توجه به نقشه علمی (شکل ۳) آیا می‌توان نشانه‌هایی از ظهور موضوعات جدید را به صورت نقاط کوچک‌تر اما با چگالی قابل مشاهده در لبه‌های نقشه یا خارج از خوشه‌های اصلی تشخیص داد؟

بله، می‌توان نشانه‌هایی از حوزه‌های در حال ظهور را به صورت نقاط کوچک‌تر اما با چگالی قابل مشاهده در خارج از کانون‌های اصلی دید. به عنوان مثال خوشه بهینه‌سازی و سیستم‌ها در قسمت بالا و سمت راست نقشه، یک منطقه با چگالی مشخص، هرچند کمتر از هسته اصلی، تشکیل داده‌اند که نشان‌دهنده تمرکز پژوهشی در این زمینه است.خوشه Sound Disturbance, Noise Patterns در سمت راست نقشه نیز یک منطقه با چگالی قابل توجه، اما جدا از خوشه‌های مهندسی اصلی، تشکیل داده که نشان‌دهنده رشد پژوهش در این حوزه زیست‌محیطی مرتبط است. این نقاط کوچکتر با چگالی مشخص، به ویژه زمانی که با اطلاعات زمانی نقشه اول ترکیب شوند، به ما در شناسایی موضوعات نوظهوری که در حال جذب فعالیت پژوهشی هستند، کمک می‌کنند.

سوال پنجم: با توجه به نقشه علمی (شکل ۳) مقایسه الگوی چگالی با الگوی ارتباطات در نقشه شبکه‌ای قبلی چه بینش‌های تکمیلی در مورد ساختار و پویایی حوزه پژوهش ارائه می‌دهد؟ مقایسه این دو نقشه بینش‌های ارزشمندی ارائه می‌دهد:

نقشه شبکه‌ای شکل ۱ ساختار گسسته‌تر حوزه را در قالب گره‌های مجزا و خطوط ارتباطی نشان می‌دهد. این نقشه برای دیدن ارتباطات مستقیم میان کلمات کلیدی خاص (مانند ارتباط بین artificial intelligence و prediction) و همچنین قدمت نسبی موضوعات (از طریق رنگ) بسیار مفید است. این نقشه ساختار دقیق‌تر ارتباطات میان موضوعات را نشان می‌دهد.

نقشه چگالی (شکل ۳) تمرکز و شدت فعالیت پژوهشی را به صورت پیوسته و با هایلایت کردن مناطق پربسامد نشان می‌دهد. این نقشه برای دیدن موضوعاتی که بیشترین حجم پژوهش روی آن‌ها انجام شده (کانون‌های اصلی)، میزان پراکندگی یا تمرکز فعالیت‌ها، و نواحی با فعالیت کم (شکاف‌های احتمالی) بسیار مؤثر است. نقشه چگالی به ما نشان می‌دهد که وزن و حجم پژوهش کجاست، در حالی که نقشه شبکه‌ای نشان می‌دهد که چگونه این وزن بین موضوعات مختلف توزیع و مرتبط شده است و کدام موضوعات جدیدتر هستند. برای مثال، نقشه شبکه‌ای ممکن است نشان دهد که هوش مصنوعی به پیش بینی متصل است (نشان‌دهنده ارتباط). نقشه چگالی نشان می‌دهد که حجم پژوهش در پیش بینی بسیار بالا است، در حالی که حجم پژوهش در هوش مصنوعی کمتر است اما به صورت یک نقطه در حال ظهور دیده می‌شود. ترکیب این دو نشان می‌دهد که حوزه پیش‌بینی عملکرد یک حوزه تثبیت شده و پرحجم است که فناوری نوظهور هوش مصنوعی در حال ورود و تأثیرگذاری بر آن است. به عبارت دیگر، نقشه چگالی نقاط داغ را نشان می‌دهد و نقشه شبکه‌ای چگونه به این نقاط داغ رسیده‌ایم یا از آن‌ها به کجا می‌رویم را تا حدی روشن می‌سازد.

۷. آینده فناوری در شناورهای تندرو

شناورهای تندرو به دلیل نیاز به سرعت بالا و کارایی بهینه در محیط‌های آبی، از طراحی‌های هیدرودینامیکی خاصی بهره می‌برند که هدف اصلی آن‌ها کاهش مقاومت در برابر آب و افزایش پایداری و سرعت است[22].

۷٫۱. تحلیل شکل‌های متداول در شناورهای تندرو

- بدنه‌های پلنینگ[15]

بدنه‌های پلنینگ با کف تخت یا نزدیک به تخت طراحی می‌شوند تا در سرعت‌های بالا، شناور را از سطح آب بلند کرده و به حالت پلنینگ برسانند. این شکل باعث کاهش سطح تماس با آب و در نتیجه کاهش مقاومت هیدرودینامیکی می‌شود. مزیت اصلی این طراحی، کارایی

[15] Planing Hulls

بالا در سرعت‌های زیاد است، اما در سرعت‌های پایین‌تر، مقاومت بیشتری نسبت به بدنه‌های جابجایی نشان می‌دهند. مطالعات نشان می‌دهند که بهینه‌سازی زاویه کف و استفاده از interceptors می‌تواند عملکرد این بدنه‌ها را بهبود بخشد.

- کاتاماران

کاتاماران‌ها با دو بدنه موازی که توسط یک ساختار مرکزی به هم متصل شده‌اند، پایداری جانبی بیشتری نسبت به بدنه‌های تک بدنه ارائه می‌دهند. این طراحی مقاومت هیدرودینامیکی را کاهش داده و فضای داخلی بیشتری فراهم می‌کند، که برای شناورهای مسافربری و باری ایده‌آل است. شبیه‌سازی‌های دینامیک سیالات محاسباتی نشان داده‌اند که فاصله بهینه بین بدنه‌ها و شکل مقطع آن‌ها تأثیر قابل توجهی بر کاهش پسا دارد.

- هیدروفویل‌ها

هیدروفویل‌ها از باله‌های زیرآبی بهره می‌برند که نیروی بالابر ایجاد کرده و بدنه شناور را از آب جدا می‌کنند، به طوری که مقاومت در برابر آب به حداقل می‌رسد. این طراحی امکان دستیابی به سرعت‌های بسیار بالا با مصرف سوخت کمتر را فراهم می‌کند، اما پیچیدگی طراحی و هزینه‌های نگهداری آن چالش‌هایی را به همراه دارد. تحقیقات اخیر بر روی مواد کامپوزیتی سبک برای بهبود استحکام و کاهش وزن این باله‌ها متمرکز شده است.

۷/۲. مواد پیشرفته و بهینه‌سازی ساختاری

استفاده از مواد سبک و مقاوم مانند کامپوزیت‌های فیبر کربن و آلیاژهای تیتانیوم، وزن شناورها را کاهش داده و استحکام ساختاری را افزایش می‌دهد. این مواد، همراه با تحلیل‌های پیشرفته نظیر slamming و fatigue که در شبکه‌های پژوهشی برجسته هستند، امکان طراحی شناورهایی با دوام بیشتر در برابر شرایط سخت دریایی را فراهم می‌کنند. آینده این حوزه ممکن است به سمت مواد هوشمند خودترمیم‌شونده حرکت کند که هزینه‌های نگهداری را کاهش می‌دهند.

۷/۳. سیستم‌های رانش نوین

ظهور renewable energy در پژوهش‌های اخیر نشان‌دهنده تمایل به استفاده از سیستم‌های رانش الکتریکی و هیبریدی است. این سیستم‌ها، که می‌توانند با منابع انرژی تجدیدپذیر مانند سلول‌های خورشیدی یا پیل‌های سوختی هیدروژنی ادغام شوند، نه تنها کارایی را افزایش می‌دهند بلکه انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهند. توسعه پروانه‌های پیشرفته و جت‌های آبی نیز می‌تواند به کاهش مقاومت و بهبود عملکرد کمک کند.

۷/۴. بهینه‌سازی طراحی با CFD و هوش مصنوعی

پیشرفت در دینامیک سیالات محاسباتی و هوش مصنوعی که در گره‌های پررنگ مانند optimization و algorithm در نقشه‌های علمی مشهود است، امکان طراحی دقیق‌تر و بهینه‌تر شکل‌های بدنه را فراهم می‌کند. استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای تحلیل داده‌های دینامیک سیالات محاسباتی می‌تواند به طراحی شناورهایی با کمترین پسا و بهترین seakeeping performance منجر شود. این رویکرد در آینده ممکن است به سیستم‌های تطبیقی real-time گسترش یابد که شکل بدنه را بر اساس شرایط لحظه‌ای دریا تنظیم می‌کنند.

۷/۵. شناورهای خودران

گره‌های مرتبط با target tracking، GPS، و systems در شبکه‌های پژوهشی نشان‌دهنده حرکت به سمت شناورهای خودران است. این شناورها با استفاده از سنسورهای پیشرفته و هوش مصنوعی می‌توانند در مناطق پرترافیک آبی با ایمنی و کارایی بالا عمل کنند. این فناوری پتانسیل تغییر در حمل‌ونقل دریایی و لجستیک را دارد، به‌ویژه در صورتی که با سیستم‌های رانش پایدار ترکیب شود.

۷/۶. پایداری محیطی

توجه به noise، sound disturbance در پژوهش‌ها نشان‌دهنده اهمیت کاهش اثرات زیست‌محیطی شناورهای تندرو است. فناوری‌های آینده ممکن است شامل پوشش‌های بدنه کاهش‌دهنده نویز، سیستم‌های رانش کم‌صدا، و پروتکل‌های مدیریت ریسک برای حفاظت از اکوسیستم‌های دریایی باشد. این موضوع با افزایش فشارهای قانونی و اجتماعی برای پایداری محیطی اهمیت بیشتری خواهد یافت.

شکل‌های کنونی شناورهای تندرو، از جمله بدنه‌های پلنینگ، کاتاماران‌ها، و هیدروفویل‌ها، هر یک مزایای خاصی در کاهش مقاومت و افزایش کارایی ارائه می‌دهند. با این حال، آینده این فناوری‌ها به سمت طراحی‌های

سبک‌تر، کارآمدتر و پایدارتر حرکت می‌کند که از پیشرفت‌های مواد، سیستم‌های رانش نوین، بهینه‌سازی مبتنی بر CFD و هوش مصنوعی، و خودمختاری بهره می‌برند. تحلیل شبکه‌های پژوهشی تأیید می‌کند که این روندها در حال شکل‌گیری هستند و نیازمند همکاری میان‌رشته‌ای بین مهندسان، دانشمندان مواد، و متخصصان هوش مصنوعی است. تحقیقات آتی باید بر اعتبارسنجی این فناوری‌ها از طریق آزمایش‌های میدانی و مطالعات طولی تمرکز کند تا پتانسیل آن‌ها به طور کامل محقق شود.

۸. جمع‌بندی نتیجه‌گیری

در نهایت، تحلیل جامع نقشه‌های علمی حوزه شناورهای تندرو، تصویری شفاف از ساختار، پویایی و جهت‌گیری‌های کلیدی این زمینه پژوهشی ارائه می‌دهد. این تحلیل نشان داد که در حالی که مباحث بنیادی نظیر هیدرودینامیک، عملکرد، طراحی و شبیه‌سازی همچنان کانون‌های اصلی و فعال تحقیق را تشکیل می‌دهند، حوزه به سرعت در حال جذب و ادغام فناوری‌های نوظهور است. ظهور و رشد چشمگیر خوشه‌های مرتبط با هوش مصنوعی، انرژی‌های تجدیدپذیر، سیستم‌های خودکار و ملاحظات زیست‌محیطی، نشان‌دهنده تغییر پارادایم به سمت راهکارهای پایدارتر، هوشمندتر و خودمختارتر در طراحی و عملیات شناورهای تندرو در آینده است. ساختار شبکه‌ای و هم‌پوشانی میان خوشه‌ها نیز بر ماهیت میان‌رشته‌ای این حوزه و لزوم پژوهش‌های یکپارچه تأکید دارد. شناسایی مناطق با چگالی پژوهشی کمتر نیز فرصت‌های بالقوه برای کاوش‌های جدید و پر کردن شکاف‌های دانشی را برجسته می‌سازد. بنابراین، یافته‌های این مطالعه نه تنها وضعیت فعلی مرز دانش در شناورهای تندرو را روشن می‌سازد، بلکه با ترسیم مسیرهای رشد و شناسایی اولویت‌های نوظهور، می‌تواند راهنمای ارزشمندی برای جهت‌دهی استراتژیک تحقیقات آتی در این حوزه حیاتی باشد. برخی از موارد کلیدی شامل حوزه‌های زیر است:

- **سازگاری و یکپارچگی سیستم‌های ناوبری خودران:** ادغام فناوری‌های مبتنی بر GPS با الگوریتم‌های هوش مصنوعی مزیت‌های فراوانی از جمله افزایش دقت و کاهش خطای انسانی دارد. اما چالش‌های مربوط به تأمین زیرساخت‌های فنی (مانند شبکه‌های ارتباطی پرسرعت) همچنان نیازمند توجه ویژه هستند. بررسی اخیر نشان می‌دهد که فناوری‌های ترکیبی، علی‌رغم پیچیدگی فنی، به دلیل بهره‌گیری از مزایای مشترک هر فناوری، می‌توانند پاسخگوی نیازهای آینده در شناورهای تندرو باشند.
- **تغییرات در سیستم‌های انتقال قدرت**: در زمینه انتقال قدرت، تغییر از موتورهای سنتی به موتورهای هیبرید و برقی یک روند چشمگیر در سال‌های اخیر بوده است. موتورهای هیبرید، با ترکیب مزایای دو سیستم متفاوت، می‌توانند تعادل بهتری بین عملکرد و مصرف سوخت به ارمغان آورند. از سوی دیگر، موتورهای برقی به دلیل عدم مصرف سوخت فسیلی، در عرصه کاهش آلودگی محیطی پیشتاز هستند؛ اما محدودیت‌های مربوط به برد عملیاتی و زمان شارژ همچنان به عنوان چالش‌های اصلی باقی مانده است.
- **چالش‌های طراحی هیدروفویل و بهره‌وری آیرودینامیکی**: بهبود طراحی هیدروفویل با استفاده از مواد نوین و تکنیک‌های طراحی پیشرفته، به کاهش مقاومت شناور در برابر اصطکاک کمک شایانی کرده است. با این حال، بهبودهای بیشتر در بخش دینامیک سیالات و مطالعات تجربی مورد نیاز است تا عملکرد شناور در سرعت‌های بالا به حداکثر برسد.
- **نقش فناوری‌های اینترنت اشیاء**: بهره‌گیری از اینترنت اشیاء در شناورهای تندرو، امکان نظارت لحظه‌ای بر پارامترهای سیستم‌های مختلف را فراهم آورده و موجب افزایش ایمنی و بهبود پاسخگویی سیستم‌های ناوبری و موتوری شده است. این فناوری، با فراهم کردن داده‌های دقیق، زمینه را برای تحلیل‌های پیشرفته و تصمیم‌گیری‌های به موقع فراهم می‌کند؛ اما پیاده‌سازی گسترده آن مستلزم سرمایه‌گذاری‌های کلان در زیرساخت‌های ارتباطی و امنیت سایبری می‌باشد.
- **چالش‌های میان‌رشته‌ای و آینده نوآوری**: فناوری‌های نوین مرزدانشی در حوزه شناورهای تندرو، نیازمند همکاری میان رشته‌ای بین مهندسی نرم‌افزار، مکانیک، علم داده و علم مواد می‌باشند. چالش‌های موجود در ادغام سیستم‌های مختلف، نیازمند تحقیقات

بین‌رشته‌ای بیشتری است تا بتوان از تمامی ظرفیت‌های فناوری‌های نوین بهره‌مند شد. در این راستا، پژوهش‌های آینده باید به بررسی راهکارهایی جهت بهبود یکپارچگی و کاهش پیچیدگی سیستم‌های ترکیبی بپردازند.

در مجموع، روند گذار به سمت استفاده از فناوری‌های نوین مرزدانشی در شناورهای تندرو نه تنها موجب افزایش کارایی و ایمنی سیستم‌های دریایی می‌شود، بلکه ابعاد زیست‌محیطی و اقتصادی نیز در بهره‌برداری از این فناوری‌ها نقش بسزایی دارند. با توجه به تحلیل انجام شده، می‌توان نتیجه گرفت که فناوری‌های نوین مرزدانشی از جمله سیستم‌های ناوبری هوشمند، موتورهای برقی و هیبرید، طراحی‌های بهینه هیدروفویل و فناوری‌های اینترنت اشیا، در بهبود عملکرد شناورهای تندرو نقش حیاتی دارند. این فناوری‌ها با ارائه مزایای منحصر به فرد نظیر کاهش وابستگی به مداخله انسانی، بهبود بهره‌وری سوخت، افزایش کارایی و ایمنی، توانسته‌اند چشم‌اندازهای جدیدی را در صنعت دریایی رقم بزنند. با این حال، چالش‌هایی مانند نیاز به زیرساخت‌های پیشرفته، پیچیدگی فنی در ادغام سیستم‌های مختلف و سرمایه‌گذاری‌های کلان در زمینه‌های نگهداری و به‌روزرسانی فناوری‌ها همچنان به‌عنوان مسائلی حیاتی باقی مانده‌اند.

مراجع

[1] E. Gatete, H. M. Ndiritu, and R. Kiplimo, “A Review on Marine Propeller Performance of High Speed Boat Running on an Outboard Engine,” *Proc. Sustain. Res. Innov. Conf.*, pp. 213–220, Mar. 2022.

[2] O. B. Inal, J.-F. Charpentier, and C. Deniz, “Hybrid power and propulsion systems for ships: Current status and future challenges,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 156, p. 111965, 2022.

[3] X. Liu, L. Zhao, B. Rao, and Y. Bai, “Model predictive control for autonomous marine vehicles: a review,” *Ships Offshore Struct.*, pp. 1–21, Mar. 2025, doi: 10.1080/17445302.2025.2477926.

[4] G. Neşer, “Polymer based composites in marine use: history and future trends,” *Procedia Eng.*, vol. 194, pp. 19–24, 2017.

[5] “Speed Boat Developments From The Past Into The Future.” Accessed: Apr. 25, 2025. [Online]. Available: http://www.lesliefield.com/other_history/speed_boat_developments_from_the_past_into_the_future.htm

[6] L. Yun and A. Bliault, “Introduction: High-Performance Marine Vessels,” in *High Performance Marine Vessels*, L. Yun and A. Bliault, Eds., Boston, MA: Springer US, 2012, pp. 1–22. doi: 10.1007/978-1-4614-0869-7_1.

[7] O. M. Faltinsen, *Hydrodynamics of high-speed marine vehicles*. Cambridge university press, 2005. Accessed: Apr. 25, 2025. [Online]. Available:

[8] J. N. Newman, *Marine hydrodynamics*. The MIT press, 2018. Accessed: Apr. 25, 2025. [Online]. Available: https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/26039

[9] J. Li, G. Zhang, C. Jiang, and W. Zhang, “A survey of maritime unmanned search system: Theory, applications and future directions,” *Ocean Eng.*, vol. 285, p. 115359, 2023.

[10] J. Sun *et al.*, “The future and technique challenges of high-speed ground effect vehicle enrolled in maritime transportation,” *Aerosp. Traffic Saf.*, vol. 1, no. 1, pp. 43–54, 2024.

[11] N. Arish, M. J. Kamper, and R. J. Wang, “Advancements in electrical marine propulsion technologies: A comprehensive overview,” *SAIEE Afr. Res. J.*, vol. 116, no. 1, pp. 14–29, 2024.

[12] I. Bae and J. Hong, “Survey on the developments of unmanned marine vehicles: Intelligence and cooperation,” *Sensors*, vol. 23, no. 10, p. 4643, 2023.

[13] J. Sun *et al.*, “The future and technique challenges of high-speed ground effect vehicle enrolled in maritime transportation,” *Aerosp. Traffic Saf.*, vol. 1, no. 1, pp. 43–54, 2024.

[14] J. Zhuang *et al.*, “Navigating high-speed unmanned surface vehicles: System approach and validations,” *J. Field Robot.*, vol. 38, no. 4, pp. 619–652, Jun. 2021, doi: 10.1002/rob.22003.

[15] B. Singh, K. A. Dastgerdi, N. Athanasopoulos, W. Naeem, and B. Lecallard, “Provably Safe Finite-Time Guidance for Marine Vehicles,” Feb. 09, 2024, *arXiv*: arXiv:2402.06291. doi: 10.48550/arXiv.2402.06291.

[16] S. Ding, J. Jin, D. Liu, H. Li, Y. Ma, and J. Zhang, “Nonparametric modeling of a high-speed USV at three speed regions based on Gaussian process regression with a hybrid kernel function,” *Ocean Eng.*, vol. 300, p. 117528, 2024.

[17] E. Miller, M. Lammert, and C. Kemp, “Energy Modeling for Fishing Boat Hybridization,” *Authorea Prepr.*, 2024, Accessed: Apr. 25, 2025. [Online]. Available: https://www.techrxiv.org/doi/full/10.36227/techrxiv.171561285.50225545

[18] Z.-S. Dong, *High-Speed Monohull and Hydrofoil Craft*. Springer Nature, 2024. Accessed: Apr. 25, 2025.
[19] H. Cao *et al.*, "Sustainable Sea of Internet of Things: Wind Energy Harvesting System for Unmanned Surface Vehicles," *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 16, no. 22, pp. 28694–28708, Jun. 2024, doi: 10.1021/acsami.4c05142.
[20] A. Kabanov and V. Kramar, "Marine internet of things platforms for interoperability of marine robotic agents: An overview of concepts and architectures," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 10, no. 9, p. 1279, 2022.
[21] M. Jahanbakht, W. Xiang, L. Hanzo, and M. R. Azghadi, "Internet of underwater things and big marine data analytics—a comprehensive survey," *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. 23, no. 2, pp. 904–956, 2021.
[22] J. Sun *et al.*, "The future and technique challenges of high-speed ground effect vehicle enrolled in maritime transportation," *Aerosp. Traffic Saf.*, vol. 1, no. 1, pp. 43–54, 2024.