شفاف شدن اقیانوس‌ها؛ تهدیدی برای آینده زیردریایی‌های اتمی

فرزاد اسکندری[۱]، محمد مونسان[۲]، مهدی عجمی[۳*]

[۱] محقق سازمان صنایع دریایی، f.eskandari9@gmail.com
[۲] استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، گرایش معماری دریایی m.moonesun@shahroodut.ac.ir
[*۳] استادیار دانشکده مهندسی عمران، گرایش سواحل، بنادر و سازه های دریایی، دانشگاه صنعتی شاهرود، adjami@shahroodut.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۰۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱
تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۲۲

کلمات کلیدی:
شفاف شدن اقیانوس
زیردریایی
تجهیزات ردیابی
SSBN
SSN
AUV

چکیده

شفاف شدن اقیانوس‌ها و کشف آسان زیردریایی‌ها به کمک تجهیزات مدرن امروزی ممکن است برای همیشه فلسفه وجودی زیردریایی‌های اتمی و دوربرد را منتفی کند. تا به امروز، اقیانوس‌ها به منزله یک حیاط خلوت امن برای تاخت و تاز زیردریایی‌های اتمی بوده است. آنها با داشتن برد نامحدود و فاصله گرفتن چندصد مایلی از آبهای ساحلی و پرخطر کشورها و پناه گرفتن در عمق اقیانوس‌ها، اولا همواره در یک محیط امن و مخفی قرار گرفته‌اند که دسترسی و تهاجم به آنها را دشوار می‌کرد و دوما قابلیت ضربه (حمله اتمی) دوم به دشمن (پس از حمله اتمی اول دشمن) را تضمین می‌کردند که این خود عامل اصلی بازدارندگی اتمی بوده است. ولی امروزه شرایط به سرعت در حال تغییر است و با افزایش تنوع، دقت و گستردگی تجهیزات ردیابی زیردریایی‌ها، حتی دل اقیانوس‌ها نیز برای زیردریایی‌های اتمی ناامن یا اصطلاحا «شفاف» شده است. این مقاله با تحلیل جدیدترین دستاوردهای علمی و فنی در این حوزه و بررسی نظرات کارشناسان نظامی دنیا در منابع موجود، این موضوع را بررسی می‌کند. در نهایت این مقاله نتیجه‌گیری می‌کند که بلوغ شتابان فناوری‌های کلیدی‌ای مانند فناوری 6G در تبادل اطلاعات، هوش مصنوعی، سنسورهای بسیار دقیق، باتری‌های با چگالی انرژی بالا و استقرار همه این فناوری‌های نوین بر روی پلتفرم‌های بدون سرنشین، به احتمال زیاد باعث خواهند شد زیردریایی‌های اتمی در برابر بدون سرنشین‌ها، ظرف دو تا سه دهه آینده، بسیار آسیب پذیرتر شوند. به نظر می‌رسد تنها راه حل منطقی، بکارگیری گسترده تر بدون سرنشین ها در داخل زیردریایی ها (به عنوان یک زیردریایی مادر) برای مقابله با بدون سرنشین های مهاجم باشد. این مقاله به بررسی موضوعات فوق می پردازد. اهمیت این موضوع در هدفگذاری هوشمندانه برای سرمایه‌گذاری‌های دفاعی آینده در دنیا است.

Transparency of the Oceans, a Threat to the Future of Nuclear Submarines

Farzad Skandari[1], Mohammad Moonesun[2], Mehdi Adjami[3*]

[1] *Researcher of Maritime Industries Organization, f.eskandari9@gmail.com,*
[2] *Member of the Civil Engineering faculty, Shahrood University of Technology, m.moonesun@shahroodut.ac.ir*
[*3] *Member of the Civil Engineering faculty, Shahrood University of Technology, adjami@shahroodut.ac.ir*

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 25 Sep 2023
Accepted: 12 Nov 2023
Available online: 13 Nov 2023

Keywords:

ABSTRACT

The transparency of the oceans and the easy detection of submarines with the help of today's modern equipment may eliminate the existence philosophy of nuclear and long-range submarines forever. Until today, the oceans have been a safe haven for

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.5.3]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.43]

Ocean Transparency
Submatrine
SSBN
SSN
AUV

nuclear submarines. Having an unlimited range and being several hundred miles away from the coastal and dangerous waters of the countries and sheltering in the depths of the oceans, firstly, they have always been in a safe and hidden environment, which made it difficult to access and attack them, and secondly, they guaranteed the possibility of a second strike (nuclear attack) on the enemy (after the enemy's first nuclear attack), which was the main factor of nuclear deterrence. But nowadays the conditions are changing rapidly and with the increase in variety, accuracy and extent of submarine tracking equipment, even the heart of the oceans has become unsafe or so called "transparent" for nuclear submarines.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.5.3]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.43]

۱ – مقدمه

اقیانوس‌ها مدت‌هاست که محیطی چالش‌برانگیز برای فناوری‌های سنجش و شناسایی زیردریایی‌های نظامی هستند. تا به امروز، اقیانوس‌ها به منزله حیاط خلوت برای تاخت و تاز زیردریایی‌های اتمی حامل موشک بالستیک(SSBN) [۱] بوده که همواره توسط زیردریایی‌های اتمی تهاجمی(SSN) [۲] اسکورت و محافظت شده‌اند. آنها با فاصله گرفتن چندصد مایلی از آبهای ساحلی و پرخطر کشورها و دور شدن از تهاجمات ضدزیردریایی در نزدیکی سواحل و دور شدن از برد موشک‌های برد کوتاه و متوسط ساحلی و برد هلی‌کوپترها و هواپیماهای ضد زیردریاییASW[۳] و پناه گرفتن در عمق آب اقیانوس‌ها، همواره در یک محیط امن و مخفی قرار گرفته‌اند. همچنین آنها قابلیت ضربه (حمله اتمی) دوم به دشمن (پس از حمله اتمی اول دشمن) را تضمین کرده‌اند و همین موضوع، به خودی خود باعث بازدارندگی مطمئن در دوران جنگ سرد بوده است[۱]. در واقع تا به امروز زیردریایی‌های اتمی نقش اصلی و محوری در عدم وقوع جنگ هسته‌ای داشته‌اند چراکه هر قدرت هسته‌ای می‌داند در صورت تهاجم هسته‌ای، خودش نیز بلافاصله بوسیله موشک‌های اتمی پرتاب شده از زیردریایی‌های اتمی SSBN نابود خواهد شد. محدود بودن تجهیزات شنود و ردیابی زیرآبی و محدود بودن فعالیتهای جنگ ضدزیردریایی در دهه‌های گذشته، به زیردریایی‌ها اجازه داده تا بخش‌های وسیعی از اقیانوس‌ها را تا حد زیادی بصورت ناشناخته سفر کنند. در نتیجه، موشک‌های بالستیک پرتاب شده از دریا برای اطمینان از قابلیت حمله دوم و حفظ تعادل استراتژیک بین دشمنان هسته‌ای مهم هستند. زیردریایی‌های تهاجمی دیزل الکتریک SSK بدلیل محدودیت انرژی عمدتا برای دفاع ساحلی و شکار زیردریایی‌های مهاجم استفاده می‌شوند و قابلیت استقرار چندماهه در اقیانوس را ندارند. فناوری‌های کلیدی‌ای مانند فناوری 6G در تبادل اطلاعات، هوش مصنوعی، سنسورهای بسیار دقیق، باتری‌های با چگالی انرژی بالا و استقرار همه این فناوری‌های نوین بر روی پلتفرم‌های بدون سرنشین و پیشرفت روزانه و سریع آنها، وضعیت موجود را به سرعت تغییر داده و نیروهای زیردریایی را به طور فزاینده‌ای در برابر شناسایی، آسیب‌پذیر می‌کنند. استراتژیست‌های نظامی دنیا در دهه اخیر همواره از خود می‌پرسند که با رشد سریع چنین فناوری‌های مدرن ASW در دنیا، آیا اصولا نیازی به زیردریایی‌ها و بخصوص زیردریایی‌های اتمی خواهد بود و آیا این سرمایه‌های نظامی گرانقیمت، کارایی لازم را خواهند داشت؟ این کارشناسان باید برای نیازهای نظامی دو دهه آینده کشورهای خود از امروز تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی کنند و هرگونه اشتباه در تصمیمات آنها می‌تواند میلیاردها دلار از سرمایه‌های ملی آنها را هدر داده و علاوه بر آن، در روز نبرد، براحتی تسلیم دشمنان شوند. هر کارشناس حوزه زیردریایی می‌داند و درک می‌کند که مهمترین مزیت و نقطه قوت زیردریایی‌ها، اختفاء و پنهان بودن آنهاست و اگر این مزیت عمده، منتفی شود عملا زیردریایی‌ها در معرض تهدیدات جدی خواهند بود و بدلیل محدودیت سرعت و موقعیت استقرار خود، تبدیل به طعمه آسان خواهند شد. پیدایش اصطلاح پرکاربرد «شفاف شدن اقیانوس‌ها» از همین جا ایجاد شد بطوریکه زیردریایی‌ها دیگر نمی‌توانند همانند گذشته در محیط تاریک و غیرقابل شناسایی اقیانوس‌ها پنهان شوند[۲]. پیشرفت‌ها در ابزارهای شناسایی و پردازش داده این امکان را برای نیروهای ضدزیردریایی فراهم می‌کند تا نشانه‌های ظریف‌تر را از نویز پس‌زمینه تشخیص داده و باعث تسهیل در شناسایی زیردریایی شوند. ابزارهای کلیدی شامل سونارهای غیرفعال، سونارهای فعال، رادارهای دیافراگم ترکیبی[۵] و حسگرهای آشفتگی مغناطیسی[۶] هستند. این سنسورها انتشار صدای زیردریایی، مواد بدنه، امواج سطحی و مغناطیسی را تشخیص می‌دهند[۳]. توسعه رباتیک، زیرساخت‌های بستر دریا و ارتباطات زیرسطحی، اکنون فرصت‌هایی را برای ادغام این قابلیت‌ها در شبکه‌های شناسایی بزرگ فراهم می‌کند. این شبکه‌ها می‌توانند ربات‌های زیرسطحی بدون سرنشین

[1] Submersible Ship Ballistic (Missile) Nuclear
[2] Submersible Ship Nuclear (powered)
[3] Anti Submarine Warfare
[4] Submersible Ship (hunter) Killer

[5] synthetic aperture radar
[6] magnetic anomaly sensor

متحرک، حسگرهای ثابت بستر دریا و شناورها، و زیرساخت‌های تجاری مانند حسگرهایی که ذخایر ماهی‌ها را نظارت می‌کنند، ترکیب کنند. سپس سیستم‌های ارتباطی زیر آب می‌توانند اطلاعاتی را بین این حسگرها مبادله کنند تا زیردریایی‌ها را مشخص کنند و به نیروهای ضد زیردریایی اطلاع دهند. در میان رقبای مختلف آمریکا، چین ممکن است به عنوان یک رقیب در حال ظهور شناخته شود. پس از دهه‌ها تاکید بر جنگ زمینی، چین اکنون در تلاش است تا نیروهای دریایی خود را توسعه دهد و این شامل قابلیت‌های ضدزیردریایی نیز می‌شود. شاید مهمتر از آن، چین همچنین شروع به استفاده از سیستم‌های بدون سرنشین و قابلیت‌های شبکه مورد نیاز برای شناسایی زیردریایی‌های نسل بعدی کرده است[۱]. با توجه به مقیاس اقیانوس‌ها، یک گام مهم و رو به جلو برای وسایل نقلیه خودکار (و برای رصد کلی اقیانوس) بهبود قابلیت تطبیق و همکاری حسگرها، سیستم‌ها و داده‌ها است. افزایش همکاری و تطبیق بین عناصر سیستم به عنوان یک مزیت سازمانGOOS [۷] و یک جنبه مهم در برنامه‌ریزی برای دهه آینده توجه شده است[۴]. علاوه بر حوزه نظامی، سایر رشته‌های علمی و فناوری نیز با هدف انتفاع اقتصادی به دنبال شفاف کردن اقیانوس-ها هستند. در حال حاضر پلتفرم‌های خودکار یک سری از مشاهدات کلیدی را برای برخی از این متغیرها فراهم می‌کنند. پیشرفت‌های بیشتر در سیستم‌های خودکار باید در جهت برآورده کردن نیازهایی که اکنون در حال رشد هستند؛ مانند رصد اقیانوس در زمینه‌های زیست‌شناسی، بیوژئوشیمی و اکولوژی، نقشه‌برداری از کف دریا، رصد اقیانوس عمیق و مناطق قطبی قرار بگیرند[۴]. هرچه نیازهای حوزه نظامی و تجاری به هم نزدیکتر شوند، پیشرفتها در حوزه شفافیت اقیانوسها رشد شتابان‌تری خواهد یافت چراکه هزینه‌ها و تجهیزات تولید شده بطور مشترک استفاده خواهند شد. مهمترین عواملی که باعث شفاف شدن اقیانوس‌ها شده‌اند در ادامه مقاله بررسی می‌شوند.

۲ - بدون سرنشین‌ها، تهدید اصلی علیه زیردریایی‌ها

بررسی منابع علمی و خبری دنیا نشان می‌دهد که اغلب فناوری-های ضد زیردریایی (ASW) در دهه اخیر برای نصب بر روی بدون سرنشین‌ها (UMV)[۸]توسعه یافته‌اند وگرنه عمده آنها در گذشته برای نصب بر روی کشتی‌ها و هواپیماها وجود داشته‌اند. UMVها دارای سه شاخه اصلی هستند: پهپادها (هواپیماهای هدایت پذیر از دور یا UAV)[۹] شهپادها (شناورهای هدایت پذیر از دور یا USV)[۱۰] و زهپادها (زیردریایی‌های هدایت پذیر از دور یا همان UUV‌ها[۱۱]). مزیت عمده UMVها سه عامل زیر بوده است: کم هزینه بودن، امکان تولید در تعداد بالا، عدم تلفات انسانی در صورت انهدام (که موجب تهور بیشتر در کاربرد آنها برای شناسایی زیردریایی‌ها می‌شود). در واقع آنچه باعث شده که ۱۰۰ سال گذشته زیردریایی مخفی بمانند، هزینه‌های بسیار سنگین عملیات ASW بوده است که عمدتا توسط هواپیماها و هلی‌کوپترها و ناوها انجام می‌شده است. بدون سرنشین‌ها این محدودیت بزرگ را تا حد شگفت انگیزی حل نمودند. در ذیل به برخی فناوری‌های کلیدی مستقر بر روی بدون سرنشین‌ها اشاره می‌شود. این سیستم ها به دنبال افزایش توانایی مهره‌های نظامی برای شناسایی و ردیابی زیردریایی های دیزل-الکتریک و هسته‌ای دشمن هستند. پلتفرم‌های UUV همچنین بخشی از برنامه گسترده‌تر DASH [۱۲]هستند که شامل سیستم TRAPS [۱۳]است که توسط SAIC توسعه یافته است. سیستم TRAPS نشان دهنده به روز رسانی سیستم یکپارچه نظارت زیردریا (IUSS)[۱۴]متشکل از حسگرهای هیدروفون، سونار پسیو، هواپیماهای گشتی، ناوچه ها، گلایدرهای Slocum و زیردریایی‌های هسته‌ای برای شناسایی و ردیابی زیردریایی‌های دشمن است. نیروی دریایی ایالات متحده از دهه ۱۹۵۰ از این نوع سیستم‌ها برای ارائه اطلاعات تاکتیکی به نیروهای ASW استفاده کرده است. نیروهای شوروی در جنگ سرد از سونارهای مشابه و ابزارهای تشخیص آشفتگی مغناطیسی در ASW خود استفاده کردند. برخلاف سیستم‌های قدیمی، این قابلیت‌های جدید به گونه‌ای طراحی شده‌اند که از نظر هزینه‌های تولید و نیروی انسانی، هم مقیاس‌پذیر و هم مقرون به صرفه باشند. علاوه بر این، از آنجایی که UUV‌ها سیستم‌های متحرک بدون سرنشین هستند، فرصت‌های جدیدی را بدون در معرض خطر قرار دادن خدمه ارائه می‌دهند، اما استفاده گسترده از آنها خطر ایجاد تهدیدهای جدید برای ثبات استراتژیک را به همراه دارد[۱]. مشاهدات درجایی که در اقیانوس به وسیله کشتی انجام می‌شود، با هزینه عملیاتی پلتفرم‌هایی که به انسان‌ها و ابزارهای اندازه‌گیری دقیق کمک می‌کنند، به شدت محدود می‌شود. علاوه بر این، نظارت به وسیله کشتی و زیردریایی‌های سرنشین‌دار محدودیت‌های زمانی و مکانی دارد؛ با این حال، کشتی‌ها انعطاف‌پذیری وکارایی زیادی دارند و برای سرویس شناورها و نظارت‌های کابلی ضروری هستند. غواصی، دسترسی محدود به اقیانوس و ریسک نسبتاً بالایی

[7] Global Ocean Observing System
[8] Un-Manned Vehicles
[9] Unmanned Aerial Vehicle

[10] Unmanned Surface Vehicle
[11] Unmanned Undrwater Vehicle
[12] Distributed Agile Submarine Hunting
[13] Transformational Reliable Acoustic Path System
[14] Integrated Undersea Surveillance System

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.5.3]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.43]

دارد. وسایل نقلیه کنترل از راه دور[15] (ROV) امکان مشاهده در محیط‌های دشوارتر را با کم‌ترین خطر برای انسان‌ها فراهم می‌کنند. این وسایل نقلیه عمدتاً در صنعت و سازمان‌های نظامی استفاده می‌شوند، اما همچنان به پلتفرم‌های گران‌قیمت و حضور انسان و اتصال کابلی نیاز دارند و بنابراین به عملیات کوتاه مدت در شرایط آب و هوایی مناسب محدود هستند در حالیکه برای پایش دائمی اقیانوس‌ها، شرایط سخت‌تری حاکم است. رصدهای کابلی که از مزیت انجام عملیات طولانی‌تر و توان بیش‌تر و پهنای باند بزرگ‌تری برخوردارند، یک جایگزین ارزشمند ولی گران قیمت برای مشاهدات پایدار هستند و پوشش جغرافیایی محدودی دارند[۴]. وسایل نقلیه زیرآبی بدون‌سرنشین کنترلی و وسایل نقلیه سطحی بدون سرنشین کنترلی پلتفرم‌های کنترل از راه دور هستند که امکان اندازه‌گیری‌های زمانی و مکانی بیش‌تری (و در شرایطی با هزینه کم‌تر) را فراهم می‌کنند، اما هنوز به ارتباطات با پهنای باند بالا یا نیروی انسانی برای کنترل نزدیک وابسته هستند. برخی از پلتفرم‌ها، از سیستم کنترل خودکار داخلی جهت افزایش زمان ماموریت و کاهش پهنای باند ارتباطی یا هزینه‌های عملیاتی استفاده می‌کنند. این وسایل نقلیه قابل برنامه‌ریزی و رباتیک به عنوان وسایل نقلیه سطحی خودکار (شهپاد) یا وسایل نقلیه زیرآبی خودکار (زهپاد) شناخته می‌شوند. این وسایل نقلیه هم‌چنان از طریق ارتباطات رادیویی، ماهواره‌ای یا از طریق سیگنال‌های صوتی زیرآبی با اپراتورها ارتباط برقرار می‌کنند، اما ویژگی متمایز آن‌ها این است که نیازی به انسان برای کنترل در حین عملیات ندارند[۴]. وسایل نقلیه زیرآبی خودکار یک انقلاب در زمینه فناوری دریایی است. قابلیت‌های محاسباتی، قابلیت‌های ارتباطی و خودکاری آنها پیشرفت کرده‌است. سیستم‌های ماژولار با قابلیت تنظیم مجدد، انعطاف‌پذیری و مقیاس‌پذیری پلتفرم‌های زیرآبی خودکار را بهبود می‌بخشند. بیشتر پلتفرم‌های خودکار کنونی مطابق با عملیات‌های از پیش برنامه‌ریزی‌شده عمل، نمونه‌برداری و مسیریابی می‌کنند و به طور کلی تحت نظر نیروی انسانی کم‌تری هستند. به تازگی چنین وسایل نقلیه‌ای به صورت کاملاً خودکار به کار گرفته شده‌اند. هدف این است که پلتفرم‌های خودکار پیشرفته در آینده قادر به تطبیق پارامترها و الگوریتم‌های خود باشند و این امکان را داشته باشند که بر اساس اطلاعات قبلی یا داده‌های جمع‌آوری‌شده در لحظه[16]، اقدامات یا رفتارهایی را انتخاب کنند تا به هدف تعیین‌شده برسند. سیستم‌های حسگر درون برد نیز نقش مهمی را ایفا می‌کنند. حسگرهای پیشرفته‌تری مانند اندازه‌گیری رسانایی، دما و عمق (CTD) بر روی مجموعه گسترده‌تری از پلتفرم‌های خودکار در حال حاضر نصب می‌شوند. سیستم‌های تصویربرداری نوری، کوچک‌تر و بهینه‌تر می‌شوند. طیف گسترده‌ای از حسگرهای نوری برای اندازه‌گیری‌های بیوژئوشیمیایی مانند اکسیژن محلول، قلیاییت و تشعشعات قابل دسترس فتوسنتزی در دسترس هستند. سیستم‌های آکوستیک فعال، مانند سونارهای چند پرتو، اسکن جانبی و سونارهای عمق‌یاب[17] از عملیات هیدروگرافی، مطالعات بیولوژیکی و زیست‌توده پشتیبانی می‌کنند. هنوز هم انواع بسیاری از حسگرها وجود دارند که نمی‌توان آن‌ها را روی پلتفرم‌هایی که هدف آن‌ها دوام چند ماهه یا چند ساله است، نصب کرد. چالش‌های اصلی برای حسگرها، مصرف انرژی، اندازه و پایداری طی زمان است[۴]. مشاهدات و اکتشافات زیر سطح اقیانوس به طور اساسی توسط انرژی موجود برای حرکت، ارتباط و حسگرها محدود شده است. به همین صورت، محدودیت انرژی، پردازشِ در لحظه‌ی سیستم‌های خودکار را محدود می‌کند. سیستم‌هایی که قادر هستند موج‌ها و جریان‌های زیرسطح آب را به انرژی الکتریکی تبدیل کنند، می‌توانند نقش مهمی را در تامین انرژی مورد نیاز برای نسل بعدی فناوری‌های خودکار ایفا کنند. بسیاری از وسایل بدون سرنشین در حال حاضر نیمه مدولار هستند و قابلیت اضافه کردن بخش‌هایی برای بار مفید بیشتر را دارند. در آینده، برخی از این وسایل، بسته به وظیفه‌ای که به صورت خودکار انتخاب شده یا به صورت دستی اختصاص داده شده است، ممکن است چندحوزه‌ای و خودتنظیم شوند[۴]. شکل ۱ نمایی از فضای شلوغ زیر آب با حضور بدون سرنشین‌ها را به تصویر کشیده است.

۱-۲ فناوری ارتباطی مدرن 6G و فناوری تراهرتز بر روی بدون سرنشین‌ها

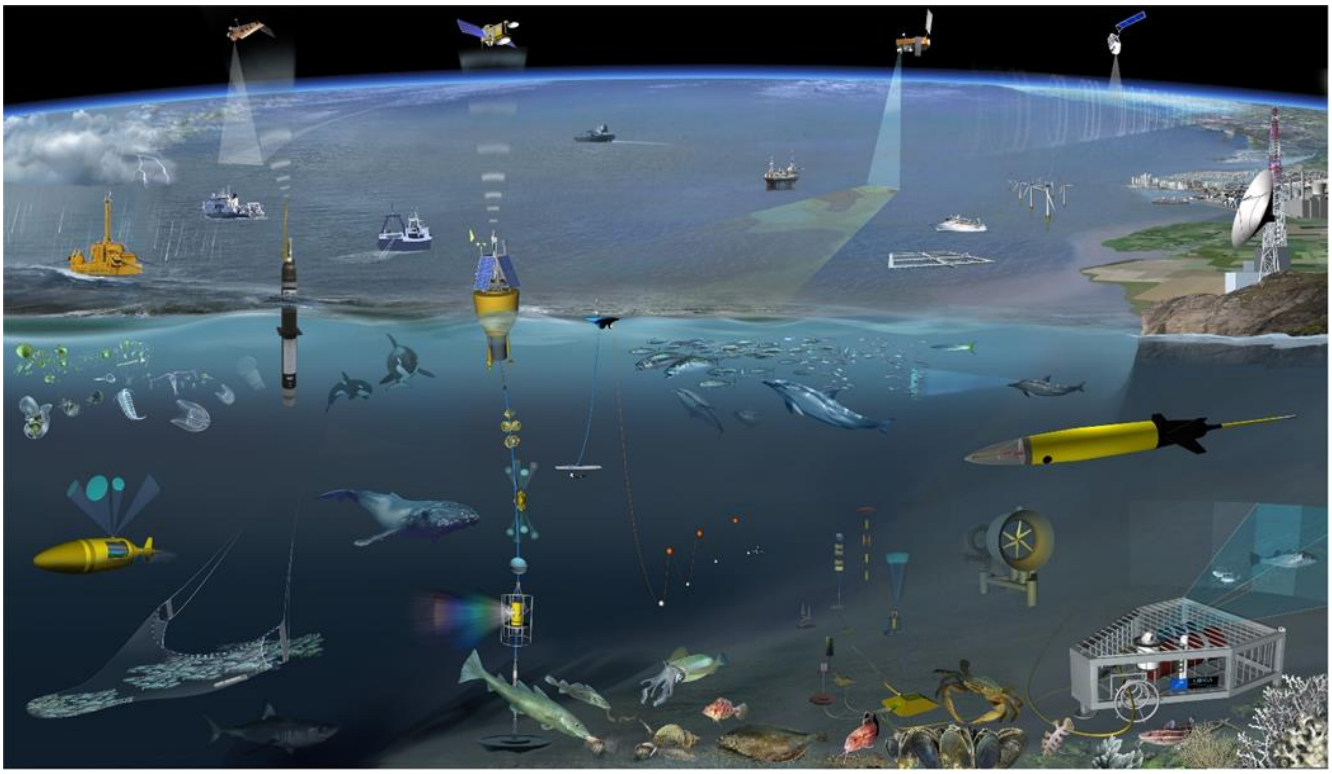
فناوری فوق العاده دستگاه‌های تراهرتز در کنار فناوری مدرن 6G به پهپادها کمک خواهد کرد که کوچکترین آشفتگی سطح اقیانوس ناشی از حرکت زیردریایی را شناسایی کند. در تاریخ ۱۱ آگوست ۲۰۲۳ گزارشی از نتایج تحقیقات یک تیم چینی در این زمینه منتشر شده که نتایج خارق العاده‌ای داشته است. دانشمندان شرکت کننده در این آزمایش گفته‌اند دستگاه تراهرتز توانست ارتعاشات سطحی بسیار کوچکی که توسط یک منبع صوتی با فرکانس پایین در دریای آزاد ایجاد می‌شد را شناسایی کند. این امواج کوچک ارتفاعی در حدود ۱۰ نانومتر داشتند که بسیار کمتر از محدوده شناسایی فناوری‌های موجود است. ردیابی و تجزیه و تحلیل این امواج نه تنها می‌تواند به شناسایی زیردریایی‌ها کمک کند، بلکه می‌تواند اطلاعاتی حیاتی مانند امضای صوتی یا مدل زیردریایی را نیز جمع‌آوری کند [۵].

[1] Remotely Operated Vehicles [5]

[1] real-time data [6]

[1] Sub-bottom sonars [7]

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.5.3]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.43]



شکل ۱- فضای شلوغ زیر آب با حضور بدون سرنشین‌ها[۴]

تیم پروژه دانشگاه ملی فناوری دفاعی چین اعلام کرده که این فناوری «پتانسیل کاربردی قابل توجهی در شناسایی زیردریایی‌ها در زیر آب و سایر حوزه‌ها خواهد داشت». تحقیقات آنها در ۱۱ آگوست ۲۰۲۳ در ژورنال رادارز که یک ژورنال معتبر علمی به زبان چینی است، منتشر شد .تراهرتز یک محدوده فرکانسی است که بین تابش مایکروویو و مادون قرمز است. فناوری تراهرتز به عنوان یک راه حل بالقوه برای دستیابی به نرخ‌های بالای انتقال داده و تأخیر کم، در نسل بعدی فناوری ارتباطات یا 6G پیشنهاد شده است. سیگنال‌های الکترومغناطیسی در این محدوده نه تنها اطلاعات بسیار بیشتری را نسبت به روش‌های ارتباطی موجود منتقل می‌کنند، بلکه قادرند اطلاعات مربوط به محیط را نیز جمع‌آوری کنند. به عنوان مثال، برخی از فرودگاه‌های چین از دستگاه‌های غربالگری تراهرتز برای شناسایی اقلام غیرقانونی پنهان شده در زیر لباس مسافران استفاده می‌کنند.

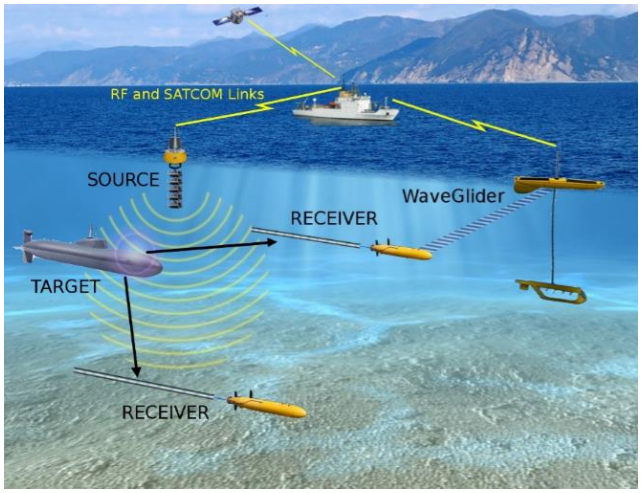
تولید سیگنال‌های قدرتمند تراهرتز در گذشته دشوار بود، اما دانشمندان در چین و سایر کشورها به مدد افزایش سرمایه‌گذاری در فناوری 6G در سال‌های اخیر، به پیشرفت‌هایی دست یافته‌اند که استفاده گسترده از این فناوری را ممکن ساخته است. به گفته این تیم چینی، با توجه به پیشرفت‌های به دست آمده، آشکارساز زیردریایی تراهرتز می‌تواند به اندازه‌ای کوچک باشد که بر روی یک پهپاد نصب شود. در مقاله آنها آمده است: «پلتفرم کوچک پهپاد از مزیت‌هایی مانند تحرک بالا، هزینه کم و بکارگیری آسان برخوردار است و می‌تواند در هماهنگی با سایر روش‌های شناسایی زیردریایی مانند آشکارساز ناهنجاری مغناطیسی (MAD)، رادار مایکروویو یا لیزر کار کند»[۵]. در این مقاله به زمان انجام این آزمایش اشاره نشده، اما محل انجام این آزمایش، مکانی نامعلوم در شمال شرقی شهر دالیان در دریای زرد بوده است. طبق مقاله آنها، در زمان آزمایش، آب و هوا مناسب بوده، اما فروپاشی امواج حباب‌های زیادی تولید کرده بوده است. دانشمندان نظامی در این آزمایش از یک منبع صوتی مصنوعی برای شبیه‌سازی صدای ساطع شده از زیردریایی استفاده کردند. برای تقلید پرواز پهپاد، آشکارساز زیردریایی توسط بازوی یک کشتی تحقیقاتی حمل می‌شد. هنگامی که یک زیردریایی با سرعت بالا در حال حرکت است، نویز تابشی قابل توجهی تولید می‌کند که به سطح آب منتقل می‌شود و باعث ایجاد لرزش در سطح می‌شود. اما زمانی که این ارتعاش به سطح می‌رسد، بسیار ضعیف می‌شود و جداسازی آن از امواج طبیعی اقیانوس در گذشته عملا غیرممکن می‌نمود. در این آزمایش، حسگر تراهرتز امواج مصنوعی را با ارتفاع متغیری از ۱۰ تا ۱۰۰ نانومتر، بسته به شرایط دریا، شناسایی کرد [۵]. طبق اظهارات تیم پژوهشی، نتیجه به دست آمده، یک معجزه سخت افزاری و نرم افزاری بود و فرکانس بالای امواج تراهرتز باعث حساسیت فوق‌العاده آن شده بود. دانشمندان چینی ادعا می‌کنند که آنها، اولین الگوریتم جهان را توسعه داده‌اند که قادر است به

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.5.3]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.43]

طور موثر امواج در اندازه نانومتر را بر روی آبهای متلاطم اقیانوس شناسایی کند. به گفته آنها، از همین فناوری می‌توان در ارتباطات زیردریایی استفاده کرد. گاهی اوقات لازم است یک زیردریایی برای هماهنگی حرکات خود با هواپیماهای دوست در یک عملیات نظامی بزرگ تماس برقرار کند. کاپیتان توانست در این آزمایش، پیام‌ها را در ارتعاشات سطحی بسیار کوچک رمزگذاری کند که برای نیروهای دشمن قابل تشخیص نبود. آنها گفتند که نتیجه آزمایش در دریا نشان داد فناوری تراهرتز دارای «رزولوشن سیگنال بالایی» برای ارتباط میان محیط‌های مختلف است، موضوعی که همچنان برای نیروهای دریایی به عنوان یک چالش مطرح است. به گفته آنها، فناوری 6G در آزمایش‌های جداگانه‌ای برای ارتباط از فاصله نزدیک، بین آب و هوا مورد استفاده قرار گرفته و نتایج موفقیت‌آمیزی نیز در برداشته است. حال با توجه به سطح نویز بسیار بالای توربین‌های بخار و قطعات متحرک زیردریایی‌های اتمی، بنظر می‌رسد شناسایی آنها حتی وقتی در عمق چندصد متری اقیانوس باشند به واقعیت بسیار نزدیکتر شده است[۵].

۲-۲ ارتباط زیرآبی سریع برای عملکرد شبکه‌ای در مقیاس وسیع

یکی از مزایای ارتباطات مدرن و سریع زیرآبی که در قسمت قبل نیز ذکر شد برای زیردریایی‌های با تعداد کثیر این امکان را فراهم می‌کند که نیازی به تعقیب هدف برای ردیابی آن نداشته باشند. سرعت زهپادها (AUV) معمولا کمتر از یک پنجم زیردریایی-های نظامی است لذا عملا امکان تعقیب زیردریایی را ندارند ولی به لطف ارتباطات مدرن زیرآبی و تعداد زیاد زهپادها که در عمق-های مختلف در پهنه وسیعی از اقیانوس پهن شده‌اند و با سرعت کم در حال پرسه زدن هستند، زیردریایی اتمی هرجایی که برود در تور شناسایی زهپادها خواهد بود. تنها محدودیت حاضر، استفاده انرژی الکتریکی بیشتر زهپادها نسبت به گذشته برای بهره‌گیری از دستگاههای ارتباطاتی مدرن و پردازش اطلاعات است که نیاز به ذخیره انرژی الکتریکی را بیشتر می‌کند. استفاده از ارتباطات ماهواره‌ای برای سیستم‌های خودکار که نوعی دسترسی به سطح دارند، رایج است. پهنای باند معمولاً در حد صدها بایت در ثانیه است که مناسب برای کنترل و فرماندهی برخی از اندازه‌گیری‌های مستقیم است. ارتباطات زیرآبی به دلیل ماهیت فیزیکی اقیانوس دشوار است. برای ارتباط صوتی، هم تخمین کانال صوتی و هم انتخاب مکان‌های حسگر به دلیل تأثیرات جریان سیال دشوار هستند. برای ارتباطات الکترومغناطیسی هم محدودیت‌هایی از جمله جذب انرژی الکترومغناطیسی در آب، وجود دارد[۴]. ارتباطات صوتی برای نرخ‌های کمِ انتقال داده و مسافت‌های متوسط استفاده می‌شود و اخیراً ناتو یک استاندارد بین‌المللی برای ارتباط دیجیتال زیرآب منتشر کرده است. ارتباطات نوری یا الکترومغناطیسی، برای اتصال پلتفرم‌های خودکار با نرخ‌های بالای انتقال داده و فواصل بسیار کوتاه استفاده می‌شود. سرعت‌هایی تا ۳۰ مگابایت بر ثانیه در فواصل چند متری نشان داده شده است. در بالاترین سطح، برنامه‌هایی مانند سیستم شناور آرگو، پلتفرم‌های خودکار را به خاطر آن که مشاهدات یک منطقه را کاملا پوشش دهند، هماهنگ می‌کند. گلایدرها به طور مستقیم در مطالعات فرآیند منطقه‌ای و محلی هماهنگ شده‌اند. معماری یک شبکه یکپارچه جهانی گلایدر در حال توسعه است و چینی‌ها، روس‌ها و ناتو هریک بطور مجزا در حال توسعه شبکه خود هستند (شکل ۲).



شکل ۲: توصیف مفهومی یک شبکه همکاری زهپادها برای شناسایی زیردریایی

بسته به پدیده‌های مورد مطالعه، استراتژی‌های مختلف با استفاده از AUV های متفاوت می‌توانند اتخاذ شوند. ممکن است برخی از آن‌ها درگیر اندازه‌گیری با وضوح بالا و برخی دیگر درگیر ارائه اطلاعات در مقیاس‌های مکانی و زمانی بزرگ‌تر برای ارزیابی شرایط اقیانوسی باشند. روش‌هایی در حال توسعه هستند تا به سیستم‌های خودکار این اجازه را بدهند تا در محیط‌های چالش‌برانگیز مشاهدات خود را هماهنگ کنند. ارسال صوتی در فواصل طولانی به عنوان یک روش ناوبری AUV ها معرفی شده است که می‌تواند انجام عملیات‌های چندپلتفرمی را در محیط‌هایی با مشکل دسترسی به GPS مانند زیر یخ‌های قطب شمال، افزایش دهد.

۲-۳ استفاده بی‌باکانه از سونار اکتیو

زیردریایی‌های نظامی دارای سرنشین در استفاده از سونار اکتیو بسیار محتاط هستند چراکه بازتابش امواج صوتی از هدف می‌تواند

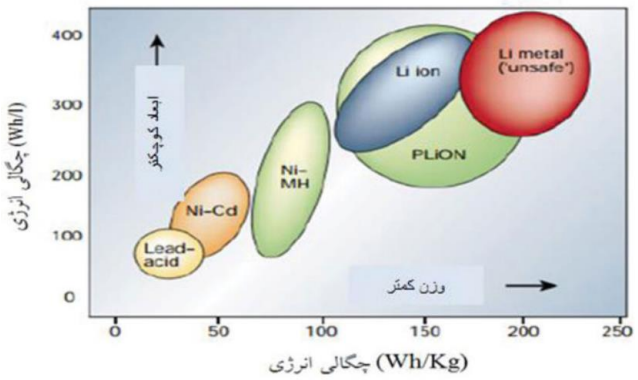
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.5.3]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.43]

خود آنها را مورد اصابت قرار دهد. لذا آنها معمولا از فرکانس‌های صوتی‌ای استفاده می‌کنند که برد بسیار کوتاهی دارد و برای مانع یابی استفاده می‌شود نه برای شناسایی زیردریایی‌های دیگر با برد بلند. اما زهپادها و شهپادها خیلی راحتتر و بی‌باکانه‌تر می‌توانند از سونار اکتیو با برد بلند (با برد موثر ۲۰-۱۰ کیلومتر با کیفیت و دقت مناسب) برای اسکن نمودن عمق آب استفاده کنند چراکه حتی در صورت عکس العمل شدید زیردریایی کشف شده، یک وسیله ارزان قیمت و بدون تلفات انسانی از بین رفته است. حتی یک شهپاد در سطح آب نیز می‌تواند به کمک سونار اکتیو براحتی عمق اقیانوس را اسکن کند و نیازی به رفتن به عمق آب نیست. تنها محدودیت حاضر، استفاده انرژی الکتریکی در زهپادها برای بکارگیری ممتد و پیوسته سونار اکتیو است که نیاز به ذخیره انرژی الکتریکی را بیشتر می‌کند[۱].

۲-۴ باتری‌های با چگالی انرژی بالا

تمام موارد ذکر شده در بالا جهت بکارگیری در بدون سرنشین‌ها نیازمند ذخیره انرژی الکتریکی کافی در باتری‌ها است. باتری‌های با چگالی ذخیره بالا امروزه به سرعت در حال رشد و توسعه هستند از جمله باتری‌های لیتیوم-یون و باتری‌های کوآنتومی. البته امروزه فناوری‌های فضایی و هوایی مانند پهپادها نیز نیاز خاصی به تکامل فناوری باتری دارند و زیردریایی تنها متقاضی این حوزه نیست. ورود بخش هوایی به حوزه باتری و با توجه به سرمایه‌گذاری‌های کلان و توجه خاص همه کشورها به حوزه هوایی، این بارقه امید را ایجاد کرده است که در سالهای آتی شاهد تحولات اساسی در فناوری باتری و به تبع آن در حوزه‌های متاثر از آن از جمله بدون سرنشین‌ها باشیم[۶].

در طی سال‌های گذشته صنعت باتری تلاشهای فراوانی را در جهت تکامل شاهد بوده است. انواع مختلفی از این محصول به مصرف کنندگان معرفی و شرکت‌های بزرگی همچون سونی یکی از رویکردهای خود را تولید انواع پیشرفته این لوازم ذخیره سازی انرژی الکتریکی قرار داده‌اند که در شکل ۳ می‌توان نمونه‌ای از این توسعه را مشاهده کرد. نکته بسیار مهمی که از این شکل می‌توان فهمید این است که تمام تلاش‌ها در راستای کاهش وزن، کوچکتر شدن و دانسیته توان بالاتر است[۷].



شکل ۳- چگالی انرژی و سیر تحول انواع باتری‌ها[7]

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، باتری‌های سرب‌ـ اسیدی (LABs) و نیکل کادمیوم (Ni-Cd) در حالی که حجم و وزن بیشتری داشتند، از چگالی انرژی پایین‌تری برخوردار بودند. بر پایه تحقیقات انجام شده با وجود اینکه استفاده از باتری‌های نیکل‌ـ هیدرید فلز بسیار مرسوم است ولی باتری‌های لیتیوم یونی که در سه دسته لیتیوم یونی، پلیمر لیتیوم یون و لیتیوم فلزی قرار دارند با دو برابر بازده، چگالی انرژی بیشتری را فراهم می‌سازند که به این ترتیب با توجه به حجم کوچک، وزن سبک و قیمت مناسب، گزینه مناسبی جهت استفاده در بدون سرنشین‌های قابل شارژ محسوب می‌شوند. در این راستا پرداختن به تحقیقات بنیادین در حوزه باتری، پلی است که بین دانشگاه و صنعت ایجاد شده و محققین در تلاش هستند تا نقش سه پارامتر تکنولوژیکی در باتری‌ها شامل بارگذاری کاتد، جفت شدن آند/کاتد و مقدار الکترولیت را بیشتر مورد بررسی قرار داده تا بتوانند باتری‌های با کیفیت بهتر، طول عمر بیشتر و ارزان تر به بازار ارائه دهند. یکی دیگر از انواع مهم باتری‌ها، باتری‌های اتمی می‌باشند. تبدیل انرژی فروپاشی هسته‌ای به الکتریکی از همان اوایل دهه ۱۹۹۰ مورد توجه قرار گرفته بود. مفهوم باتری‌های هسته‌ای در سال ۱۹۱۳ پیشنهاد شده و اولین طرح بتاولتائیک مبتنی بر اتصالات p-n سیلیکون در دهه ۵۰ بررسی شد[۶]. طی دهه‌های گذشته، باتری‌های هسته‌ای بتاولتائیک سوژه مهم تحقیقاتی بوده‌اند. باتری‌های هسته‌ای بهترین گزینه برای کاربردهایی است که در آنها منابع انرژی با عمر طولانی در کنار مصرف انرژی کم مانند برنامه‌های فضایی، ضربان‌سازهای قلب، میکروسیستم‌ها، سنسورهای از راه دور و غیره مورد نیاز است. یک سلول بتاولتائیک عمدتاً از منبع ذرات رادیواکتیو بتا، آلفا و یک ماده نیمه هادی با محل اتصال p-n تشکیل شده است[۷]. عامل اساسی در یک دستگاه بتاولتائیک تعاملی است که بین ذرات بتا با ماده‌ای است که تعداد قابل توجهی جفت الکترون - حفره در محل اتصال p-n آزاد می‌کند و با ایجاد یک میدان الکتریکی در مرز جدایش بین حامل‌های بار جریان الکتریکی تولید کرده و بنابراین توان خروجی

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.5.3]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.43]

الکتریکی قابل استفاده ایجاد کند. تاکنون چندین ماده رادیوایزوتوپ به عنوان منابع بتاولتائیک مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به عنوان مثال می‌توان از ایزوتوپهای S-۳۵، Ni-۶۳، Kr-۸۵، Y-۹۰، Pm-۱۴۷ نام برد. در میان این منابع Ni-۶۳ به دلیل خصوصیات مطلوب آن امیدوارکننده‌ترین انتخاب است[۶]. علاوه بر پاک بودن منبع بتا، نیمه عمر طولانی دارد (حدود صد سال). ذرات بتا با انرژی کم تولید کرده و در نتیجه حداقل آسیب تابش را برای مبدل نیمه هادی به همراه دارد. از طرف دیگر ذرات بتا می‌توانند پس از آنکه چند میکرومتر در مواد جامد حرکت کنند متوقف شوند. از نظر فراوانی در طبقه‌بندی مهم زباله‌های رادیواکتیو از نیروگاه‌های هسته‌ای قرار دارند. در یک دستگاه بتاولتائیک، منبع رادیواکتیو نقش بسیار مهمی در تعیین ساختار و کارایی باتری بازی می‌کند[۷]. علیرغم کارهای مطالعاتی زیادی که در مورد باتری‌های بتاولتائیک صورت گرفته، اما مطالعه قابل توجهی در خصوص منبع رادیواکتیو انجام نشده و نیازمند بررسی‌های بیشتری می‌باشد. در کنار آنچه گفته شد همواره ساخت باتری‌های با کیفیت بهتر موضوعی بوده که توجه بسیاری را به خود اختصاص داده است. همین امر باعث شده که به فکر استفاده از فناوری‌های نوین برای غلبه بر مشکلات بیفتند. در چند سال گذشته فناوری کوانتومی به عنوان یکی از چند فناوری تاثیرگذار در دنیا معرفی شده است و بر اساس نتایج مطالعات موسسه گارتنر این فناوری در سال ۲۰۱۷ جزء فناوری برتر سال-های آینده مدنظر قرار گرفته بود. بعد از گذشت ۵ سال اکنون می‌توان باور داشت که این پیش‌بینی تا حدود زیادی درست بوده و امروزه فناوری کوانتومی نقش مهمی در زمینه توسعه هوش مصنوعی نسل سوم و ادوات نیم رسانایی که برپایه سیلیکون نمی-باشند، مخابرات نوری، مواد کوانتومی فوق پیشرفته، پهپادها و زهپادها و در نهایت کامپیوترهای کوانتومی ایفا می‌کند (شهپادها بدلیل امکان استفاده از موتورهای احتراقی چندان وابسته به فناوری باتری نیستند). این فناوری در حال ساختن فضای بسیار پیچیده‌ای از فناوری است که چاره‌ای جز پذیرفتن تبعات آن وجود ندارد. به طور قطع یکی از مهم‌ترین حوزه‌های تاثیرگذاری فناوری کوانتومی را می‌توان حوزه انرژی دانست. بر اساس شواهد موجود می‌توان انتظار داشت که این فناوری علاوه بر کاهش مصرف انرژی، هم در بخش تولید انرژی از طریق سلولهای خورشیدی و هم در بخش ذخیره‌سازی انرژی از طریق باتری‌ها و ابرخازن‌ها، می‌تواند تاثیر مهمی را از خود بر جای گذارد. با تکامل فناوری باتری‌ها در سالهای آتی می‌توان امیدوار بود که مهمترین حلقه مفقوده در فعالیتهای ASW بدون سرنشین‌ها در پهنه اقیانوسها کامل خواهد شد و زهپادها می‌توانند بجای چند روز، برای هفته‌ها و ماهها در اقیانوس‌ها بمانند همانند کاری که گلایدرهای زیرآبی می‌کنند.

۱-۴-۲ سایر منابع انرژی درجا

همانطور که پیش‌تر اشاره شد، محدودیت‌های انرژی می‌توانند توانایی عملیاتی وسایل نقلیه خودکار را تحت‌الشعاع قرار دهند. پیشرفت‌های چشمگیری در افزایش دوام وسایل نقلیه زیرآبی به دلیل پیشرفت در طراحی وسایل نقلیه، مدیریت انرژی و ذخیره‌سازی انرژی شیمیایی انجام شده است. به عنوان مثال، باتری‌های لیتیومی دریایی، دانسیته انرژی تا ۲ کیلوژول بر کیلوگرم را دارند که دو برابر باتری‌های اصلی لیتیوم-یون است. این پیشرفت‌ها زمان بین دوره‌های عملیاتی و پتانسیل برای محاسبات درون‌بوردی را افزایش داده‌است (به عنوان مثال فعال‌سازی نمونه‌برداری تطبیقی) و از حسگرهای بیشتری که مصرف انرژی بالاتری دارند، پشتیبانی می‌کنند. AUVهای پروانه‌دار که با سرعت تا ۱ متر بر ثانیه حرکت می‌کنند، اکنون پتانسیل طراحی برای تدوام عملیاتی بیش از ۶۰۰۰ کیلومتر را دارند و از انواع مختلف حسگرها، از اندازه‌گیری‌های ویژگی‌های آب کم‌توان تا سونارهای چند پرتویی با مصرف انرژی بیش‌تر را پشتیبانی می‌کنند[۴]. یکی از راه‌های افزایش دوام و توانایی AUVها، بدون افزایش هزینه، این است که آن‌ها را به یک نقطه شارژ وصل کنیم. این یک قابلیت فنی نوظهور است که در نمونه‌برداری‌های محدود و کوتاه مدت، موفق عمل کرده‌است. چنین قابلیتی به یک منبع تغذیه خارجی نیاز دارد. گزینه‌هایی از جمله موتورهای دیزل و پیل‌های سوختی وجود دارند که می‌توانند از سوخت‌ها انرژی الکتریکی تولید کنند (مثلاً ۳۸ تا ۴۸مگاژول بر کیلوگرم برای دیزل و ۱۴۲ مگاژول بر کیلوگرم برای هیدروژن)[۴]. با این حال، این سیستم های شارژ، خود نیاز به سوخت‌گیری دوره‌ای و یک حالت سطحی برای واکنش اکسیدکننده (یعنی هوا)دارند. در برخی موارد، به ویژه برای کاربردهای زیرسطحی، برداشت منابع انرژی در محل، یک جایگزین جذاب برای تبدیل به انرژی شیمیایی است. برداشت در محل اکنون توانایی‌های قابل توجهی در افزایش دوام با استفاده از پیشرانش موج (مانند Wave Gliders)یا باد (مانند Saildrones) فراهم کرده است. با این حال، این امر هنوز برای پیشرانش زیرسطحی یا برآورده کردن نیازهای الکتریکی مرتبط با حسگرهای از راه دور، پردازش درون‌بوردی و ارتباط رایج نیست. اگر توجه خود را به نقطه‌های شارژ محدود کنیم که خدمات شارژ مجدد و ارتباطی را برای AUVها نیز ارائه می‌کنند، این برنامه احتمالاً معادل ۱۰۰ وات تا ۱۰ کیلووات توان الکتریکی مداوم نیاز دارد. این موضوع احتمالاً برخی از فناوری‌های تبدیل را ، مانند

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.5.3]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.43]

برداشت انرژی ارتعاشی، که فقط در مقیاس‌های بسیار کوچک‌تر امکان‌پذیر هستند، حذف می‌کند. منابع انرژی در محل شامل موارد زیر هستند:

- پنل‌های خورشیدی فتوولتائیک[1]
- توربین‌های بادی، چه در محور افقی یا چه در محور عمودی؛
- تبدیل‌کننده‌های انرژی موج، که انرژی جنبشی و/یا انرژی پتانسیل در امواج سطحی را به الکتریسیته تبدیل می‌کنند؛
- توربین‌های جریان در جریان‌های جزر و مدی یا اقیانوسی، که بر روی اصول مشابهی با توربین‌های بادی کار می‌کنند؛
- تبدیل انرژی گرادیان حرارتی از دریچه‌های حرارتی، بر اساس اصول مشابهی با تبدیل انرژی حرارتی اقیانوسی در مقیاس بزرگ یا برداشت در مقیاس کوچک‌تر از پلتفرم‌ها.

مدتی است که از مبدل های کوچک انرژی امواج برای تامین نیروی بویه‌های ناوبری استفاده می‌شود. در یک مثال دیگر، در یک پروژه صنعتی مشترک بین پژوهشگران دانشگاهی و توسعه‌دهندگان فناوری انرژی موج، از یک بسته خودران شامل یک تبدیل‌کننده انرژی موج و یک بسته ابزار یکپارچه استفاده شد. بسته ابزار شامل دوربین‌های اپتیکی استریو، نور مصنوعی، یک سونار چند پرتویی، دوربین صوتی و دو هیدروفون بود. داده‌ها به صورت مداوم از تمامی ابزارها جمع‌آوری و توسط یک کامپیوتر درون‌بورد، در لحظه پردازش می‌شدند تا رویدادهای جالب و قابل توجه را تشخیص دهند؛ به عنوان مثال حضور پستانداران دریایی. علاوه بر این، این پروژه، طول عمر معادل یک روش انتقال انرژی به صورت بی‌سیم برای شارژ AUV را نشان می‌داد. کل سیستم به ۶۰۰ وات انرژی پیوسته نیاز داشت که اصلی‌ترین منبع تأمین آن مبدل انرژی موج بود و با یک پنل خورشیدی توسط یک میکروشبکه باتری‌دار پشتیبانی می‌شد[۴]. به طور کلی روند استفاده از فناوری‌های مبدل انرژی موج، جریان و گرادیان حرارتی در بازار به دلیل هزینه‌های بالای آن‌ها نسبت به جایگزین‌های تجدیدپذیر مانند خورشید و باد، کند پیش رفته است. با این حال، معلوم شده است که این فناوری‌ها می‌توانند در بازارهای کوچک‌تر، از جمله حسگرهای اقیانوس، استفاده شوند. پژوهش‌های اخیر به طور قابل توجهی به بهبود کارآیی سیستم‌های موج و جریان که مناسب برای استفاده در سیستم‌های رصد خودکار هستند، منجر شده‌اند.

۲-۵ هوش مصنوعی

شناسایی و تفکیک اشیاء متحرک زیر آب و زیردریایی‌ها از نهنگ-ها، کوسه‌ها، دلفین‌ها، ماهی‌ها و سایر جانداران و زباله‌های دریایی سرگردان بسیار دشوار است و ممکن اپراتورهای انسانی را دچار خطا کند. ضمن اینکه برای شناسایی ماهیت یک موضوع در زیر آب باید چندین پارامتر مانند نوع حرکت، شدت و فرکانس صوت انتشاری، رد اثر روی سطح آب، میزان مجاورت با کف دریا، تغییرات میدان مغناطیسی و غیره را باهم ترکیب و سپس تصمیم-گیری کند. این دقیقا حوزه‌ای است که هوش مصنوعی می‌تواند به دقیق‌ترین و مطمئن‌ترین حالت کار کند. ضمن اینکه پیش‌بینی مسیر حرکت یک زیردریایی پس از کشف اولیه آن براحتی توسط هوش مصنوعی ممکن است. امروزه فناوری هوش مصنوعی به حدی بلوغ یافته است که در گوشی‌های هوشمند تجاری بطور روزانه حتی توسط کودکان نیز برای تشخیص صوت یا تصویر یا بازی استفاده می‌شود. ترکیب هوش مصنوعی با تجهیزات ارتباطی مدرن مانند فناوری 6G می‌تواند تصمیم‌گیری «برخط» و بدون تاخیر را ممکن سازد و تحلیل اطلاعات از جمع‌آوری داده‌ها، ترکیب آنها و تصمیم‌گیری نهایی را بجای چند ساعت یا چند دقیقه به چند ثانیه یا حتی چند دهم ثانیه تقلیل دهد و از طرف دیگر، میزان خطا را چند برابر کاهش دهد.

۲-۶ گلایدرهای زیرآبی

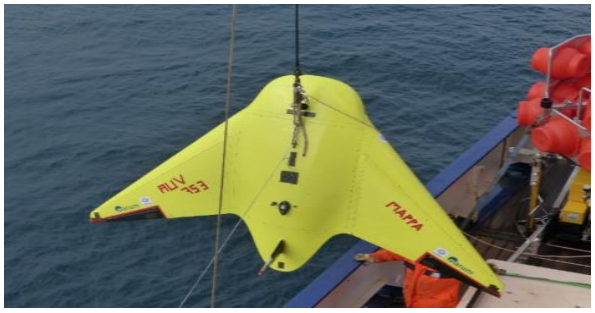
فناوری پیشرفته گلایدرهای زیرآبی با[1] قابلیت شارژ مجدد توسط پنل‌های خورشیدی و مصرف بهینه انرژی با کمک نیم سیکل حرکتی توسط گرانش زمین (اختلاف وزن و بویانسی) باعث ماندگاری و برد بسیار زیاد این وسایل بدون سرنشین با عمق غوص زیاد شده است و کاربردهای متعددی در حوزه نظامی و اقیانوس‌شناسی دارد. در واقع امروزه یکی از عوامل مهم شفاف شدن اقیانوسها همین گلایدرهای زیرآبی هستند. این گلایدرها شامل شناورهای آرگو و گلایدرهایی مانند SeaGlider و Slocum هستند. نیاز به توان کم موتور بویانسی (سیستم رانش گلایدری)، مأموریت‌های طولانی مدت را ممکن کرده است[۴]. دوام طولانی این وسیله‌ها، هزینه‌های عملیاتی را کاهش می‌دهد و اندازه کوچک آن نیاز به کشتی‌های بزرگ برای عملیات نصب و بازیابی را کم‌تر می‌کند. شناورهای آرگو به عنوان وسیله‌ی اصلی مشاهدات اقیانوسی، اطلاعات کلیدی در مورد اقیانوس را در دو دهه گذشته فراهم کرده‌اند. گلایدرها به طور گسترده برای

1 photovaltic 8

1 underwater glider 9

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.5.3]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.43]

اندازه‌گیری فیزیکی اقیانوس‌شناختی استفاده می‌شوند، به ویژه برای مطالعه فرآیندهای پویا در مناطق کم‌عمق و ساحلی. هم‌چنین، آن‌ها در موارد کاربرد صنعتی مانند تولید نفت و گاز (شناسایی منابع نفت و گاز در عمق اقیانوس) نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. تلاش‌هایی برای افزایش ظرفیت باربری در طراحی‌های گلایدر انجام شده است، به عنوان مثال طراحی‌های بال‌ترکیبی که در شکل ۴ نشان داده شده‌است، اما این اقدامات هنوز به طور گسترده استفاده نشده‌اند.



شکل ۴: گلایدر زیرآبی با طراحی بال ترکیبی [۴]

۷-۲ حسگرهای خاص و مدرن

یکی از محدودیت‌های بزرگ در شفاف نمودن اقیانوس‌ها، محدودیت سنسورها بودند که قابلیت اندازه‌گیری بسیاری از پارامترها را نداشتند. برای نصب بر روی زهپادها هم دو محدودیت عمده داشتند: ۱)وزن نسبتا زیاد ۲)توان مصرفی بالا. در یک دهه گذشته تحولات بزرگی در حوزه حسگرها (سنسورها) رخ داده است. قلب هر سیستم مشاهده‌گری، حسگرها هستند. بیش از دو دهه است که انواع حسگرهای استفاده شده در پلتفرم‌های خودکار، در حال رشد است. این قابلیت‌ها به علت نیاز به شناخت در لحظه و جامع اقیانوس، ایجاد شده‌اند. انتخاب حسگرها برای یک ماموریت همیشه کار ساده‌ای نیست. سیستم‌های حسگر می‌توانند هم از نظر فرم و نیازهای انرژی و هم از نظر سیستمی برای تعادل بین دقت، وضوح، پایداری و فرکانس نمونه‌برداری، متفاوت باشند[۴]. حسگرهایی که به یک سطح بالایی از فناوری دست یافته‌اند، با جزئیات کم‌تری پوشش داده شده‌اند. حسگرهای فیزیکی مهمی در اقیانوس‌شناسی هستند که در سطح بالایی از آمادگی فناوری قرار دارند، مانند حسگرهای رسانایی، دما و عمق CTD[۲]؛ حسگرهای صوتی فعال و چندین تکنیک حسگری نوری برای ترکیبات شیمیایی. حسگرهای نوری بیش‌تر از دیودهای روشنایی یکپارچه (LED)، لیزرها و تکنولوژی‌های طیف‌سنجی نوری استفاده می‌کنند. بر عکس، بیش‌تر حسگرهای بیوژئوشیمی و ترکیبات زیست‌شیمیایی در سطح پایین‌تری از آمادگی فناوری قرار دارند. حسگرهای بیوژئوشیمیایی (BGC)بر روی برخی از پلتفرم‌های خودکار مانند گلایدرها و شناورهای عمود رونده استفاده می‌شوند[۱]. حسگرهای زیستی نسبت به BGCها کم‌تر توسعه یافته‌اند، اما جای پیشرفت قابل توجهی دارند. حسگرهای رسانایی، دما و عمق از چند دهه پیش در لنگرها، رزت‌های کشتی (دستگاهی که برای نمونه‌گیری از آب استفاده می‌شود) و AUVها استفاده می‌شوند. محاسبه شوری برای به دست آوردن چگالی آب مهم است و به شدت وابسته به فشار و دما در یک زمان است. تأخیر فیزیکی انتقال آب بین حسگرها می‌تواند باعث ایجاد خطا در شناورهای عمود رونده یا گلایدرهایی شود که با سرعت ۰٫۵ متر بر ثانیه در حضور گرادیان‌های عمودی شدید دما، حرکت می‌کنند. حسگرهای موجود بر روی پلتفرم‌های خودکار نیز می‌توانند متغیرهای فیزیکی، مانند سرعت جریان را اندازه‌گیری کنند.ADCPها[۲] به طور گسترده‌ای در کشتی‌های تحقیقاتی، لنگرها و اخیراً درAUVها از جمله گلایدرها استفاده می‌شوند، اگرچه به دلیل نیازهای انرژی و چالش‌های پردازش به طور معمول فعلا در گلایدرها استفاده نمی‌شوند. وسایل زیرآبی خودکار به دستگاه‌های پرتوسنجی چندگانه صدا و سونارهای جانبی مجهز شده‌اند. وزن و انرژی مورد نیاز این حسگرها نیازمند AUVهای بزرگی هستند که دوام کوتاهی دارند و نیاز به پشتیبانی از کشتی‌های تحقیقاتی دارند، اما همچنان کاربرد خود را در برخی از برنامه‌های نقشه‌برداری، اثبات کرده‌اند[۴]. حسگرهای نوری پارامترهای بیوژئوشیمیایی را هم در محیط اقیانوس می‌سنجند. انواع زیادی از حسگرهای نوری برای شیمی و زیست‌شناسی وجود دارند که در بسیاری از برنامه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. چرخه‌های مواد غذایی (نیترات، فسفات و سیلیکات) در جداسازی کربن دی‌اکسید در اقیانوس تاثیرگذارند و با چرخه جهانی کربن ارتباط پیدا می‌کنند. حسگر اپتود در حال حاضر به طور رایج برای اندازه‌گیری اکسیژن استفاده می‌شود و تحقیقاتی نیز در حال انجام است تا این حسگرها را بتوانند دی‌اکسید کربن را اندازه‌گیری کنند. این حسگرها کوچک هستند، با توان کم عمل می‌کنند و پایداری خوبی برای کارکردهای چندساله دارند. پایداری این حسگرها برای نسخه‌های اندازه‌گیری دی‌اکسید کربن هنوز موجود نیست. روشی دیگر برای اندازه‌گیری دی‌اکسید کربن از طریق pHاست، که نیاز به دانشی برای ارتباط بین میزان قلیایی و دی‌اکسید کربن دارد اما از اندازه‌گیری مستقیم دی‌اکسید کربن را اجتناب می‌کند. حسگرهای بعدی بر روی شناورهای آرگو عمل کرده و به صورت

[1] Profiling Floats

[2] Acoustic Doppler Current Profilers

[2] Conductivity, Temperature, Depth

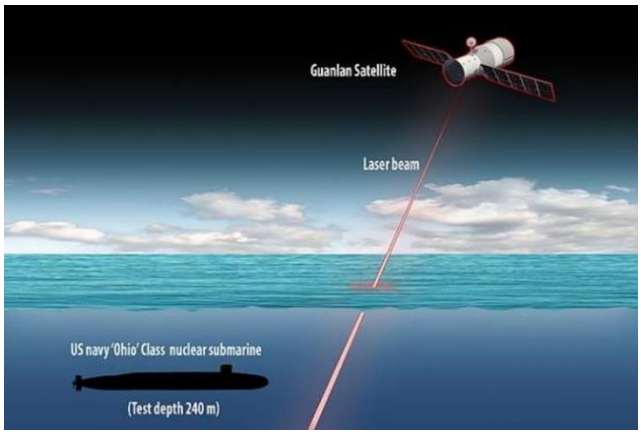
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.5.3]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.43]

تجاری در دسترس هستند. طیف‌سنجی رامان (Raman spectroscopy) برای شناسایی ژئوشیمیایی اعماق دریا با تجهیزات نصب‌شده بر ROV استفاده شده است، اما این حسگرها بسیار سنگین هستند و نیازمند توان زیاد و تطابق فیزیکی دقیق با نمونه‌های کف هستند. یک قابلیت پیچیده تر، طیف سنجی جرمی زیر آب است. این تکنیک قادر به تجزیه و تحلیل عناصر و ایزوتوپ‌ها، شامل شناسایی و توصیف ترکیبات است. ظهور قطعات مینیاتوری نظیر پمپ‌های خلاء، ۲۰ سال پیش باعث ایجاد طیف‌سنج‌های جرمی قابل حملی شد که می‌توانند بر روی پلتفرم‌های خودکار مانند AUVها نصب شوند. این قطعات قابل حمل، تجزیه و تحلیل درجا و در لحظه را از ترکیبات آب فراهم می‌کنند و درک جدیدی را از ویژگی‌های جرم آب در اختیار می‌گذارند. اگرچه این ابزارها قدرتمند هستند اما استفاده از آن‌ها بر روی پلتفرم‌هایی که توان محدودی دارند، چالش‌برانگیز است. آن‌ها به سیستم خلاء داخلی برای عملکرد طیف‌سنج جرمی نیاز دارند. هم‌چنین نیاز است، روشی برای وارد کردن نمونه‌ها به سیستم خلاء در فشارهای بالای آب‌های عمیق دست یافت. این کار به طور معمول با استفاده از طیف‌سنجی جرمی با غشاء[۲۳] انجام می‌شود که برای گازهای پایدار سبک (مانند اکسیژن و کربن دی‌اکسید) و ترکیبات آلی فرار، کار می‌کند. برق مورد نیاز برای پمپ خلاء ناچیز نیست و معمولاً ۵۰–۱۰۰ وات است و محققان در تلاش هستند که در آینده میزان توان و اندازه‌ی این سیستم‌ها را کاهش دهند. علیرغم همه‌ی چالش‌ها، هم نمایش‌های امکان سنجی و هم کاربردهای عملی برای طیف‌سنج جرمی که بر روی AUVها، ASVها نصب شده‌است، وجود داشته است[۴].

۳- فناوری لیزرهای ماهواره‌ای

از سالها قبل در مورد کاربرد لیزر (بخصوص لیزر سبز-آبی) در شناسایی زیردریایی‌ها پژوهش و مطالعه شده است ولی آنچه امروزه باعث تحول در کاربرد آن در ASW شده است، ترکیب فناوری لیزر و فناوری ماهواره می‌باشد (شکل ۵). امروزه ماهواره‌ها این قابلیت را دارند که از لیزر برای شناسایی زیردریایی‌ها استفاده کنند. اخیرا ادعا شده است که ماهواره نظامی چین به نام «Project Guanlan» با استفاده از لیزر می‌تواند زیردریایی‌هایی را ردیابی کند که در عمق ۵۰۰ متری زیر سطح آب حرکت می‌کنند. محققان ادعا می‌کنند اشعه‌های این لیزر احتمالا یک میلیارد برابر درخشان تر از اشعه خورشید است. با این وجود برخی کارشناسان معتقدند رصد چنین عمقی از دریا فعلا غیر ممکن است زیرا لیزر نمی‌تواند در چنین عمقی نفوذ کند.

Project Guanlan در ماه می ۲۰۱۸ افتتاح شد[۸]. بیش از ۲۰ دانشگاه در سراسر چین اجزای این لیزر را در قالب یک پروژه دفاعی کلان ساخته‌اند. هدف چین از تمرکز خاص بر چنین پروژه-هایی، شفاف کردن محل اختفای زیردریایی‌های SSBN آمریکایی و اسکورت‌های SSN آنها در اقیانوس آرام و دریای چین می‌باشد. برخی کارشناسان معتقدند تا سال ۲۰۳۰ هیچ نقطه امنی برای زیردریایی‌های آمریکایی جهت تهدید آبهای اطراف چین وجود نخواهد داشت. در تئوری وقتی چنین لیزری به یک شی مانند زیردریایی برخورد می‌کند، امواج حاصل از آن منعکس می‌شود. در مرحله بعد حسگرها امواج حاصل از برخورد شی با زیردریایی را ردیابی می‌کنند. با کمک چنین روندی شکل شی ردیابی می‌شود. به گفته محققان اشعه این لیزر چنان قدرتمند است که می‌تواند منطقه‌ای به عرض ۱۰۰ کیلومتر در خشکی را رصد کند. علاوه برآن یک رادار میکروویو نیز سطح آب را اسکن و حرکات آن را ردیابی می‌کند. این روند احتمالا نشان دهنده وجود یک زیردریایی در عمق آب است. لیدار نیز با استفاده از نورهای مافوق بنفش یا نزدیک مادون قرمز از شی عکسبرداری می‌کند. این لیزر می‌تواند طیف وسیعی از هدف‌ها از جمله اشیای غیر فلزی، صخره‌ها، باران، ترکیبات شیمیایی، ذرات هوابرد و ابرها را ردیابی کند. اما مه، آب‌های تیره و موجودات و گیاهان دریایی روی آن تاثیر منفی دارند[۸]. از طرفی، تحول اساسی در تجاری-سازی فناوری پرتاب ماهواره‌های کوچک تجاری مانند ماهواره‌های استارلینک توسط ایلان ماسک از سال ۲۰۱۹، این اطمینان را ایجاد کرده است که امکان بکارگیری تعداد بسیار زیادی از ماهواره‌های کوچک در مدار زمین امکان‌پذیر است. این مسئله از آنجا برای شفاف‌سازی اقیانوس مهم است که مشکل عرض محدود اسکن نمودن پرتو لیزر توسط ماهواره را حل می‌کند. شبکه وسیع و پرتعدادی از ماهواره‌های نظامی خواهند توانست هر منطقه دلخواهی از اقیانوس را با دقت اسکن کنند.



شکل ۵: ردیابی زیردریایی در عمق آب به کمک لیزر و ماهواره

۴- کابل‌های فیبر نوری

[2] membrance-introduced mass spectroscopy

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.5.3]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.43]

این کابل‌ها با قابلیت انتقال سریع داده‌ها از فاصله چند صد مایلی دل دریاها و اقیانوس‌ها می‌توانند کمک موثری به شفافیت اقیانوس‌ها کنند. تار نوری یا فیبر نوری[2] رشته باریک و بلندی از یک مادّه شفاف مثل شیشه (سیلیکا) یا پلاستیک است که می‌تواند نوری را که از یک سر به آن وارد شده، از سر دیگر خارج کند. فیبر نوری دارای پهنای باند بسیار بلندتر از کابل‌های معمولی می‌باشد و با آن می‌توان داده‌های تصویر، صوت و داده‌های دیگر را به‌راحتی با پهنای باند بالا تا ۱۰۰ گیگابایت بر ثانیه و بالاتر انتقال داد. امروزه مخابرات نوری، به دلیل پهنای باند وسیع‌تر در مقایسه با کابلهای مسی و تأخیر کمتر در مقایسه با مخابرات ماهواره‌ای از مهم‌ترین ابزار انتقال اطلاعات محسوب می‌شود. از فیبر نوری (معمولاً از جنس سیلیسیم دی‌اکسید) برای انتقال داده‌ها توسط نور لیزر استفاده می‌شود. یک کابل فیبر نوری که کمتر از یک اینچ قطر دارد از مجموعه‌ای از این فیبرها تشکیل شده و می‌تواند صدها هزار مکالمه صوتی را حمل کند. فیبرهای نوری تجاری ظرفیت ۲/۵ گیگابایت در ثانیه تا ۱۰ گیگابایت در ثانیه را فراهم می‌سازند. فیبر نوری از چندین لایه ساخته می‌شود. درونی‌ترین لایه را هسته می‌نامند. هسته شامل یک تار کاملاً بازتاب‌کننده از شیشه خالص (معمولاً) است. هسته در بعضی از کابل‌ها از پلاستیک کاملاً بازتابنده ساخته می‌شود، که هزینه ساخت را پایین می‌آورد. کاربردهای فیبر نوری در شفاف‌سازی اقیانوس‌ها عبارتند از: ۱) کاربرد در مخابرات: یکی از مرسوم‌ترین کاربردهای فیبر نوری انتقال اطلاعات توسط لیزر است. برای این کار از ابزاری به نام SFP کمک گرفته می‌شود که به‌طور کلی یک ماژول تبدیل سیگنال دیجیتال به سیگنال‌های نوری بوده که کاربردهای متعددی دارد. ۲) کاربرد در حسگرها: استفاده از حسگرهای فیبر نوری برای اندازه‌گیری کمیت‌های فیزیکی مانند جریان الکتریکی، میدان مغناطیسی، فشار، حرارت، جابجایی، آلودگی آب‌های دریا، سطح مایعات، تشعشعات پرتوهای گاما و ایکس در سال‌های اخیر شروع شده‌است. در این نوع حسگرها، از فیبر نوری به عنوان عنصر اصلی حسگر بهره‌گیری می‌شود. ۳) کاربردهای نظامی: فیبر نوری کاربردهای بی‌شماری در صنایع جنگ‌افزاری دارد که از آن جمله می‌توان برقراری ارتباط و کنترل با آنتن رادار، کنترل و هدایت موشکها و ارتباط زیردریاییها (هیدروفون) را نام برد. فناوری فیبر نوری امروزه یک فناوری بلوغ‌یافته و در دسترس است.

۵- برنامه آمریکا برای محافظت از زیردریایی‌های خود

شاید دو دهه قبل هیچ کس فکر نمی‌کرد که فناوری‌های ضد زیردریایی تا این حد سریع و همه‌جانبه و غیرقابل پیش‌بینی رشد کنند به گونه‌ای که همین امروز، زیردریایی‌های اتمی در معرض خطر شناسایی و انهدام باشند. در این بین آمریکا بدلیل داشتن تعداد زیاد زیردریایی‌های اتمی عملیاتی و داشتن دشمنان متعدد از جمله چین و روسیه، بیشترین خطر را احساس می‌کند. ایالات متحده چندین گزینه برای پاسخ به مشکلات شناسایی زیردریایی-های خود دارد. اول، ایالات متحده می‌تواند طرح‌های زیردریایی‌های آینده را توسعه دهد که انتشار صدا و امواج رادیویی و اختلالات میدان مغناطیسی را کاهش دهد که البته کارایی آن محدود است. دوم، ایالات متحده می‌تواند زیردریایی‌ها را با اقدامات متقابل دفاعی اضافی تجهیز کند تا در هنگام قرار گرفتن در معرض حمله، آنها را مقاوم‌تر کند مثلا زیردریایی‌های خود را بجای افزایش تعداد اژدر، به AUVهای کوچکتر تهاجمی مجهز کند تا بتوانند در مقابل AUVهای شناسایی دشمن وارد عمل شوند[۱]. سوم، ایالات متحده می‌تواند زیردریایی‌ها را از خط مقدم به پشت پرده نبرد و میانه اقیانوس برده و در حالت استندبای قرار دهد که البته گلایدرهای زیرآبی برد بلند با قابلیت شناسایی مناسب، یک چالش در این زمینه است. طرح‌های فعلی زیردریایی بر میرایی صدا و فرم بهینه هیدرودینامیک بدنه تأکید دارند. این طرح‌ها به کاهش انتشار صدا و اختلالات سطحی که به سونارهای غیرفعال و فعال هشدار می‌دهند، کمک می‌کند. گسترش طراحی و توسعه پیشرانه‌ها و موتورها با ایجاد نویز کمتر، می‌تواند به زیردریایی‌ها کمک کند. برای شکست دادن سونار فعال، زیردریایی‌ها می‌توانند با اشکال و پوشش‌های بدنه آزمایش شوند که جذب یا انحراف امواج صوتی را بهبود می‌بخشد. برای شکست حسگرهای آشفتگی مغناطیسی، طرح‌های آینده می‌توانند میزان مواد مغناطیسی مورد استفاده در ساخت زیردریایی را کاهش دهند یا سعی کنند از تکنیک‌های پوشش مغناطیسی برای کاهش ردپای مغناطیسی زیردریایی استفاده کنند. ایالات متحده همچنین می‌تواند افزایش شناسایی و تجهیز زیردریایی‌ها را با ابزارهای بهتر برای دفاع از خود پیش بینی کند. اقدامات متقابل می‌تواند شامل جمر[3] دیکوی (فریب اژدر)[4] و رهگیرها و همچنین وسایل پشتیبانی بدون سرنشین و قابلیت‌های ضد حمله باشد. جمرها و دیکوی‌ها می‌توانند سیستم‌های سلاح‌های ضد زیردریایی را غیرفعال یا منحرف کنند، در حالی که رهگیرها می‌توانند سلاح‌ها را قبل از رسیدن به زیردریایی نابود کنند. UUVها را می‌توان برای تشکیل یک محیط دفاعی در اطراف زیردریایی برای شناسایی و خنثی کردن تهدیدهای نزدیک قبل از رسیدن به زیردریایی، بسیار شبیه به کشتی‌های اسکورت یک ناو

[2] Optical fiber

[3] Jammer

[4] Decoy

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.5.3]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.43]

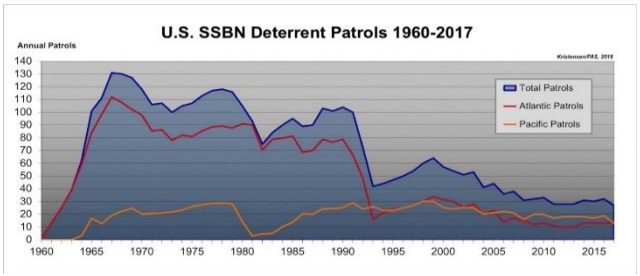
هواپیمابر استفاده کرد[۱]. این یک ویژگی مهم زیردریایی‌های مدرن آینده است. زیردریایی همچنین می‌تواند با توسعه تسلیحات اژدری و موشکی خود همانند سلاح‌های حمله زمینی دوربرد گسترش دهد تا بتواند در برابر تهدیدات هوایی، سطحی و زیرسطحی بهتر مقابله کند. زیردریایی‌های ایالات متحده همچنین می‌توانند از نقش‌های جنگی و نظارتی خط مقدم به نقش‌های هماهنگی و میزبانی در پس‌زمینه تغییر کنند. گزارش اخیر مرکز ارزیابی استراتژیک و بودجه آمریکا[۲]نشان می‌دهد که این امر به چه صورت میتواند اجرا شده و مشابه با نقش ناوهای هواپیمابر امروزی ترسیم کند به گونه‌ای که خودش بسیار دورتر از صحنه اصلی نبرد قرار گیرد و احتمال آسیب‌پذیری آن بسیار کمتر شود[۱]. در آینده، زیردریایی‌ها می‌توانند از عملیات در آب‌های پرخطر در دسترس نیروهای دشمن اجتناب کنند و در عوض به عنوان یک کشتی مادر برای UUVهای کوچک‌تر و یکبارمصرف‌تر (و ارزان‌تر) عمل کنند که می‌توانند مأموریت‌های پرخطر خط مقدم را انجام دهند. این زیردریایی همچنین می‌تواند به عنوان یک مرکز ارتباطی برای پردازش و توزیع اطلاعات جمع آوری شده توسط سنسورهای UUVها عمل کند. آزمایش‌های اخیر نیروی دریایی با UUVها و الزامات مربوط به این ربات‌ها و زیردریایی‌های تهاجمی آینده نشان می‌دهد که ایالات متحده ممکن است از سالها قبل به سمت این مدل از عملیات حرکت کرده باشد[۱]. واقعیت مسئله این است که تمامی تلاش‌های فوق در دهه‌های قبل نیز وجود داشته و صرفا به منزله یه درمان موقت است نه درمان قطعی. آنچه مسلم است، فناوری‌های ASW یک رشد شتابان و غیرقابل پیش‌بینی را تجربه می‌کنند که محیط اقیانوس را بطور روز افزون برای زیردریایی‌ها ناامن می‌کند.

۶ – کاهش تعداد SSBN ها و علل آنها

نیروی دریایی آمریکا ۱۴ زیردریایی حامل موشک بالستیک (SSBN) دارد. نیروی دریایی روسیه نیز یکی از بزرگترین ناوگان زیردریایی‌های SSBN جهان را داشت ولی در سال‌های اخیر ۱۱ زیردریایی SSBN و ۱۷ زیردریایی SSN برای اسکورت SSBNها و عملیات‌های مستقل ASW دارد[۹]. بطور کلی تعداد زیردریایی‌های اتمی در دنیا در دو دهه اخیر کاهش داشته و این روند ادامه خواهد داشت. دو دلیل عمده در دهه گذشته برای این کاهش ذکر شده است: ۱)کاهش تعداد کلاهک‌های هسته‌ای در توافق بین آمریکا و روسیه مطابق معاهده New Srart ۲)کاهش تعداد گشتهای عملیاتی پس از جنگ سرد. مثلا آمریکا قبلا ۱۴ زیردریایی SSBN کلاس اوهایو داشت که هر کدام ۲۴ لانچر عمودی موشک داشتند و هر موشک ۵-۴ کلاهک اتمی حمل می‌کرد. با فرض اینکه همواره ۲ زیردریایی در حال سوختگیری و تعمیرات در داک خشک هستند لذا آمریکا همواره ۱۲ زیردریایی SSBN عملیاتی برای دو منطقه مجزا (اقیانوس آرام و اقیانوس اطلس) داشت که ۲۸۸ موشک با حدود ۱۳۰۰ کلاهک اتمی می‌شد (تقریبا معادل نصف کلاهک‌های اتمی آمریکا). امروزه با بازنشسته شدن ۲ فروند کلاس اوهایو و تعدادی نیز در حال تعمیرات و رزرو هستند، آمریکا ۸ فروند زیردریایی عملیاتی اوهایو با ۲۴ لانچر عمودی دارد (۱۹۲ موشک) که هرکدام ۵-۴ کلاهک حمل می‌کنند یعنی ۸۶۰ کلاهک اتمی. از این ۸ فروند زیردریایی نیز ۵-۴ فروند زیردریایی شامل ۵۴۰-۴۳۰ کلاهک اتمی همواره بر روی اهداف زمینی خاصی در روسیه و چین و کره شمالی متمرکز هستند و آزادی عمل کمتری دارند[۱۰]. کلاس جدید جایگزین اوهایو دارای لانچرهای عمودی کمتر (۱۶ لانچر) هستند ولی هر موشک تعداد بیشتری کلاهک (۶-۷ کلاهک) حمل می‌کنند که باز هم تعداد ۸۶۰ کلاهک اتمی همواره در دریا آماده عملیات خواهند بود. مسئله دوم در کاهش تعداد SSBNها، کاهش تعداد گشت‌های عملیاتی آنها در سالهای اخیر است. مثلا در سال ۱۹۹۸ آمریکا ۱۸ زیردریایی SSBN داشت که همواره ۱۱ فروند (۶۱ درصد) در دریا بودند ولی در سالهای اخیر عملا از ۱۴ فروند SSBN صرفا ۶-۵ فروند (حدود ۴۰ درصد) در دریا بودند که آنها هم بجای عملیات‌های ۱۰۰-۹۰ روزه بطور متوسط گشت‌های ۷۰ روزه انجام می‌داده‌اند. الان بطور متوسط هر زیردریایی آمریکایی ۲,۳ گشت در سال انجام می‌دهد در حالیکه در دو دهه قبل ۴,۱ گشت در سال بود (شکل ۶). یعنی عملا هر زیردریایی فقط نیمی از سال را گشتزنی می‌کند. در مورد زیردریایی‌های SSN آمریکا نیز همین وضعیت برقرار است. در چند سال آینده ده‌ها فروند زیردریایی کلاس لس آنجلس بازنشسته خواهند شد (از ۶۲ فروند تولید شده فقط ۲۶ فروند فعال هستند) و این در حالی است که تعداد کمی زیردریایی‌های کلاس ویرجینیا برای جایگزینی تولید می‌شوند11].] مجموع عوامل فوق باعث شده است که کنگره آمریکا با توجه به گزارش فرماندهان ارشد ارتش و تحلیلگران نظامی مشاور، بودجه زیردریایی‌های اتمی را بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهند. در مورد کاهش تعداد و کاهش ماموریت‌های زیردریایی‌های SSBN روسیه نیز همین وضعیت برقرار است (شکل ۷). دقیقا کسی علت کاهش عملیات SSBNها را نمی‌داند ولی یکی از عوامل اصلی آن در سالهای اخیر (به غیر از دو عامل بیان شده فوق و پایان جنگ سرد) همین موضوع شفافیت اقیانوس‌ها و آمادگی برای تغییرات بزرگ در آینده است که احتمالا یکی دو دهه آینده علل اصلی آنها بیان خواهد شد.

[۲] Center for Strategic and Budgetary Assessment

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.5.3]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.43]



شکل ۶- تعداد گشت‌های دریایی زیردریایی‌های SSBN آمریکایی در بازه ۲۰۱۷-۱۹۶۰ [12]

شکل ۷- تعداد گشت‌های دریایی زیردریایی‌های SSBN روسی در بازه ۲۰۱۲-۱۹۸۱ [13]

۷ - چالش زیردریایی‌های انگلیسی در برابر شفاف شدن اقیانوس‌ها

گزارش جدید پارلمان انگلیس [۲] حاکی از آن است که زیردریایی‌های جدید ترایدنت (کلاس ونگارد) توسط بدون سرنشین‌های آینده محکوم به نابودی هستند. این گزارش که در ۲۹ فوریه ۲۰۱۶ ارائه شد پیش‌بینی می‌کند که پیشرفت سریع فناوری ربات‌های زیرسطحی و سنسورهای آنها می‌تواند در نهایت مخفی ماندن زیردریایی‌های بزرگی مانند زیردریایی‌هایی که برای حمل موشک‌های هسته‌ای ترایدنت بریتانیا در نظر گرفته شده اند را غیرممکن کند. این سؤال که آیا فناوری‌های جدید روزی می‌توانند اعماق اقیانوس‌ها را شفاف کنند، به‌عنوان یک بحث فنی بحث‌برانگیز در حال ظهور است. کمیته دفاعی به پیمانکاران دفاعی BAE و Babcock نامه نوشت و خواستار ارزیابی این موضوع شد که «آیا فناوری‌های جدید در حال توسعه مثل زیرسطحی‌های بدون سرنشین، می‌توانند زیردریایی‌ها را به‌طور دقیق شناسایی و ردیابی کنند یا خیر». گزارش جدید ارائه شده توسط شورای اطلاعات بریتانیایی-آمریکایی BASIC که یک اندیشکده امنیتی مستقل است می‌گوید که پیشرفت‌ها در فناوری بدون سرنشین‌ها و حسگرهای زیر آب، در آینده پنهان کردن یک زیردریایی SSBN بزرگ را غیرممکن خواهد کرد. نام این گزارش: «شبکه غیرقابل اجتناب: سیستم‌های بدون سرنشین در جنگ ضد زیردریایی»[۲۸]است و نتیجه آن به شرح زیر است: «در گذشته، زیردریایی‌ها از پنهان شدن در دریاهای خالی لذت می‌بردند. در آینده، این دریاها احتمالاً به طور فزاینده‌ای مملو از بدون سرنشین‌های شبکه‌ای می‌شوند، شبکه‌ای که هیچ زیردریایی‌ای نمی‌تواند از آن فرار کند». این گزارش توسط یک روزنامه‌نگار علمی متخصص در فناوری نظامی، دیوید همبلینگ، نوشته شده است که بررسی کارهایی که روی مرزهای جنگ ضد زیردریایی (ASW) در جریان است، انجام داده است. او می‌گوید چینی‌ها به دنبال اشکال جدیدی از رانش و ناوبری برای گلایدرهای زیرآبی و «ماهی‌های رباتیک» هستند که می‌توانند هنگام تعقیب یک هدف، سرعت خود را افزایش دهند. در ایالات متحده، همبلینگ به کار نیروی دریایی بر روی LOCUST[۲۹]نگاه می‌کند که هدف آن پرواز ۳۰ پهپاد بدون کنترل فردی تا تابستان ۲۰۱۶ بوده است. او می‌گوید: «چنین ازدحام‌هایی می‌توانند مناطق وسیعی را به‌طور مستقل جستجو کنند و آنها را برای عملیات ASW مناسب می‌سازند». سپس میتوان از SQUIDS[۳۰]نام برد که سنسورهایی هستند که به حدی ظریف هستند که می‌توانند میدان‌های مغناطیسی کوچک تولید شده در مغز انسان را اندازه‌گیری کنند. SQUIDS تاکنون عمدتاً در پزشکی استفاده می‌شده است. به دلیل نیاز به خنک شدن با نیتروژن مایع، امکان خرید آنها وجود نداشت، اما اکنون خنک‌کننده‌های میکروسیروژنیک[۳۱]در دسترس هستند، بنابراین SQUIDS را می‌توان بر روی ربات‌های کوچک سوار کرد و به زیر آب فرستاد. هیچ‌کدام از این پیشرفت‌ها، آنطور که مطرح می‌شوند، به این معنی نیست که یک شبه قابل مشاهده خواهند شد، اما استدلال BASIC این است که با توجه به ماهیت تصاعدی تغییرات تکنولوژیکی، خرج کردن بیش از ۴۰ میلیارد پوند، برای خرید چهار زیردریایی اتمی دارای سرنشین بزرگ جدید که تا قبل از دهه ۲۰۳۰ نمی‌توانند شروع به فعالیت - کنند، یک اتلاف هزینه بیهوده خواهد بود چراکه قطعا تا آن زمان چندین راه مختلف برای ردیابی آنها در اعماق اقیانوس ایجاد خواهد شد[۱]. دیدگاه مخالف نیز وجود دارند. دو وزیر دفاع سابق حزب کارگر، جان هاتون و جورج رابرتسون در مخالفت با ایده شفاف شدن اقیانوس‌ها در آینده چنین استدلال می کنند که: «حداقل در ۵۰ سال گذشته، در هر دهه، پیش‌بینی‌هایی انجام شده است که حسگرهای فضایی یا سایر حسگرهای غیرآکوستیک، اقیانوس‌ها را شفاف می‌کنند و در نتیجه هر نوعی از زیردریایی‌ها

[۲۸] The Inescapable Net: Unmanned Systems in Anti-Submarine Warfare

[۲۹] Low-Cost UAV Swarming Technology

[۳۰] Superconducting Quantum Interference Devices

[3] micro-cyrogenic [1]

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.5.3]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.43]

را در برابر شناسایی، لو رفتن موقعیت و حمله آسیب‌پذیر می‌کنند. با این حال، فیزیک استاد سختی است، و اقیانوس‌ها مات و غیرشفاف باقی می‌مانند. در حالی که نمی‌توانیم پیشرفت احتمالی را رد کنیم، اما مطمئن هستیم که زیرشاخه‌های جانشین کلاس Trident می‌توانند در اعماق اقیانوس پنهان شوند و برای سال‌های آینده یک بازدارندگی قدرتمند، نامرئی، ایمن و آسیب‌ناپذیر برای بریتانیا فراهم کنند». این خط استدلال اساساً اشکال دارد چراکه می‌گوید که از آنجایی که هنوز اختراع نشده است، در آینده نیز اختراع نخواهد شد، که این شیوه استدلال کاملا زیر سوال است. مسلما زیردریایی‌های آینده باید متناسب با تهدیدات آینده باشند و پیشرفت‌های شگفت‌انگیز روز ASW را باید مد نظر داشت.[۳]

۸ - برنامه DASH، نمونه‌ای از تلاش‌ها برای شفاف‌سازی اقیانوس‌ها

برنامه DASH [۳۲]دارپا، دو سیستم نمونه اولیه مکمل را به عنوان بخشی از تلاش توسعه فاز ۲ خود آزمایش کرده است (شکل ۸). نمونه‌های اولیه سونار کاربردی، ارتباطات و تحرک در اعماق دریا را نشان دادند. آزمایش‌های موفقیت‌آمیز، اهداف DASH را برای بکارگیری پیشرفتهای فنی در سونارهای توزیع‌شده در اعماق اقیانوس برای کمک به یافتن و ردیابی زیردریایی‌های بی‌صدا پیش برد. اولین نمونه اولیه، TRAPS [۳۳]ست که توسط تیمی به رهبری شرکت بین المللی SAIC [۳۴]توسعه یافته است. TRAPS یک گره سونار پسیو ثابت است که برای دستیابی به پوشش منطقه بزرگ با بهره‌برداری از مزایای عملیات از بستر عمیق دریا طراحی شده است. این گره قابل مصرف (بدون نیاز به بازیابی)، کم حجم، کم وزن و کم توان از طریق مودم‌های صوتی بی‌سیم با یک گره سطحی ثابت ارتباط برقرار می‌کند و با دسترسی RF ایمن، بیشتر از طریق ماهواره اطلاعات را باز می‌گرداند. مدیر برنامه دارپا، گفت: «هدف تنها نشان دادن این نیست که می‌توانیم چالش‌برانگیزترین مشکل در ASW را برطرف کنیم، بلکه می‌توانیم این کار را با سیستم‌هایی انجام دهیم که مقیاس‌پذیر و مقرون به صرفه هستند». «یک گره در اعماق دریا یک میدان دید است که پوشش قابل توجهی را فراهم می‌کند که به تعداد محدودی گره اجازه می‌دهد تا در مناطق بزرگ مقیاس شوند. نمونه دوم، زیردریایی SHARK [۳۵]، یک UUV است که توسط تیمی به رهبری APS [۳۶]توسعه یافته است. SHARK قصد دارد یک پلتفرم سونار اکتیو متحرک برای ردیابی زیردریایی‌ها پس از شناسایی اولیه فراهم کند. یکی از اعضای تیم APS Bluefin Robotics اخیراً نمونه اولیه را در فوریه ۲۰۱۳ برای انجام آزمایش به اعماق دریا فرستاده است[۱].

شکل ۸: آزمایش دو نمونه اولیه از زیردریایی شکارچی در اعماق اقیانوس توسط دارپا[۱]

۹ - یک مقایسه از وضعیت ASW در گذشته و حال با بکارگیری بدون سرنشین‌ها

زیردریایی‌ها می‌توانند موشک‌هایی را حمل کنند که می‌توانند اهدافی را در صدها مایل دورتر مورد اصابت قرار دهند. این در حالیست که اژدرهایی که هواپیماها و شناورهای سطحی ضدزیردریایی برای غرق کردن زیردریایی‌ها استفاده می‌کنند باید درست در اطراف زیردریایی منفجر شوند تا احتمال غرق شدن آن وجود داشته باشد. این چالش‌ها باعث شد که نیروی دریایی ایالات متحده در دوران جنگ سرد به یک رویکرد کم هزینه‌تر برای ردیابی زیردریایی‌های دشمن تکیه کند. منابع اطلاعات الکترونیکی یا بصری گزارش می‌دهند که «زمانی که یک زیردریایی دشمن در حال خروج از بندر بود، امیدوار بودیم که با نظارت صوتی یا SOSUS [۳۷]هنگام ورود به تنگه‌ها و گذرگاه‌های خاص مانند آنچه بین ایسلند و بریتانیا قرار می‌گیرد، شناسایی شود» (یعنی بجای اینکه در وسط اقیانوس‌ها به دنبال زیردریایی دشمن بگردند صرفا در نقاط گلوگاهی تردد زیردریایی‌ها به انتظار زیردریایی بنشینند)[۲]. سپس هواپیماهای گشتی سعی می‌کنند زیردریایی را با استفاده از بویه‌های مجهز به سونار یا سونوبوی ردیابی کنند و در نهایت آن را برای ردیابی طولانی مدت به زیردریایی اتمی تهاجمی ایالات متحده یا SSN تحویل دهند. مدل ASW ایالات متحده شکست خورد، با این حال، در دهه‌های پس از جنگ سرد، ناوگان زیردریایی‌ها و هواپیماهای گشتی ایالات متحده کاهش یافت، ناوگان زیردریایی چین رشد کرد، و زیردریایی های روسی

[3] Distributed Agile Submarine Hunting
[3] Transformational Reliable Acoustic Path System
[3] Science Applications International Corporation
[3] Submarine Hold at RisK
[3] Applied Physical Systems
[3] sonar arrays on the sea floor

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.5.3]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.43]

ساکت‌تر شدند. امروزه نیروی دریایی ایالات متحده تلاش زیادی را برای ردیابی هر زیردریایی مدرن روسیه در غرب اقیانوس اطلس انجام می دهد. در طول دهه ۲۰۰۰، استراتژی ASW با طیف کامل یک تغییر اساسی در اهداف آغاز کرد، از توانایی غرق کردن زیردریایی‌ها در صورت لزوم تا توانایی شکست دادن زیردریایی‌ها و جلوگیری از انجام ماموریتشان. با این حال، ASW و سایر مفاهیم کنونی، هنوز برای سنجش، ردیابی و حمله به زیردریایی‌های دشمن به هواپیماها، کشتی‌ها و زیردریایی‌ها متکی هستند تا آنها را در نزدیکی سواحل خود سرکوب کرده یا در اقیانوس باز غرق کنند. اگرچه SOSUS از زمان جنگ سرد بهبود یافته است و خانواده‌ای از آرایه های جدید قابل استقرار در بستر دریا به آن ملحق شده‌اند، حلقه بعدی در زنجیره ASW ایالات متحده هنوز یک هواپیمای گشتی P-8A Poseidon، یک ناوشکن موشک هدایت شونده کلاس Arleigh Burke یا یک زیردریایی SSN ایالات متحده می‌باشد. این پلتفرم‌ها در سراسر جهان بسیار محدود هستند، زیرا صدها میلیون تا میلیارد دلار برای خرید و صدها هزار دلار هزینه در روز برای کار کردن هزینه دارند. با یکدست شدن بودجه دفاعی و احتمال کاهش آن پس از کووید-۱۹، نیروی دریایی ایالات متحده نمی‌تواند در ASW به ریسک کردن با هواپیماها یا کشتی‌های متعددی ادامه بدهد که برای ردیابی و نابودی زیردریایی‌ها، باید به محدوده عملیاتی موشک ها با برد محدود برسند. نیروی دریایی باید در عوض استفاده از سیستم‌های بدون سرنشین در ASW را در سراسر جهان افزایش دهد، که خرید و کارکرد آن‌ها در مقایسه با همتایان سرنشین‌دارشان هزینه کمی دارد. هواپیماهای بدون سرنشین می‌توانند سونوبوی یا آرایه‌های سونار ثابت را مستقر کنند و ربات‌های زیرسطحی یا سطحی می‌توانند آرایه‌های سونار غیرفعال و فعال را بکسل کنند. وسایل نقلیه سطحی بدون سرنشین (شکل ۹) همچنین می‌توانند سونارهای فعال با فرکانس پایین مانند آنهایی که توسط کشتی‌های نظارتی ایالات متحده حمل می‌شوند و می‌توانند زیردریایی‌ها را از ده‌ها مایل دورتر شناسایی یا از آن دور کنند، مستقر کنند. اگرچه پلتفرم‌های هوشمند، اپراتورهای هواپیما و ناوشکن‌ها یا گشتی‌ها را ندارند، پردازش بهبود یافته به حسگرهای کوچک مستقل امکان می‌دهد تا به سرعت، اهداف مورد نظر را شناسایی کنند. با ارتباطات ماهواره‌ای می‌توان وسایل نقلیه و حسگرهای بدون سرنشین را با اپراتورهای ساحلی یا روی پلتفرم‌های ASW سرنشین‌دار متصل کند. کمبود قابل توجه مفاهیم امروزی ASW «بستن زنجیره کشتار» با حمله به زیردریایی‌های دشمن است. تسلیحات پرتاب شده از هوا یا سطح آب، برد کوتاه و کلاهک‌های کوچکی دارند که توانایی آنها را در غرق کردن زیردریایی کاهش می‌دهد، اما هزینه و اندازه آنها مانع میدان دادن به آنها می‌شود. سیستم‌های بدون سرنشین می‌توانند این کمبود را با رویکردی جدید به ASW با سرکوب و ترساندن زیردریایی‌های دشمن به جای نابود کردن آنها، برطرف کنند. در طول جنگ جهانی دوم و جنگ سرد، نیروی دریایی متفقین عمدتاً زیردریایی‌ها را از طریق ردیابی تهاجمی و حملات آزاردهنده یا با وادار کردن SSNهای محافظ برای محافظت از زیردریایی‌های حامل موشک‌های بالستیک، آزار می‌دادند. این کاری است که بدون سرنشین‌ها براحتی می‌توانند انجام دهند و لزوما نیازی به حمل و پرتاب سلاح نیست. نسخه مدرن سرکوب زیردریایی شامل عملیات سنجش و آشکارسازی و حتی همراه با حملات مکرر اژدر یا بمب‌های عمقی می‌شود. اگرچه امروزه وسایل بدون سرنشین، اغلب تسلیحات مرگبار را تحت نظارت انسان پرتاب می کنند، اما سلاح های کوچکی که برای سرکوب و ترساندن زیردریایی ها بسیار مفید هستند، می توانند به تعداد مناسب توسط پهپادهای متوسط با استقامت طولانی یا شناورهای سطحی بدون سرنشین متوسط حمل شوند. علاوه بر این، تعداد زیاد و استقامت طولانی وسایل بدون سرنشین، امکان ردیابی و سرکوب بسیاری از زیردریایی‌ها را در یک منطقه وسیع با خطر کمتر از استفاده از هواپیماهای گشتی یا ناوشکن ها فراهم می کند. امروزه نیروی دریایی ایالات متحده از سیستم‌های بدون سرنشین در ASW عمدتاً برای شناسایی زیردریایی‌ها استفاده می‌کند. برای انجام نظارت مقرون به صرفه در زمان صلح و شکست موثر زیردریایی‌ها در زمان جنگ، نیروی دریایی باید نقش بدون سرنشین‌ها را افزایش دهد. استفاده از پلتفرم‌های سرنشین‌دار برای هدایت و کنترل، و وسایل بدون سرنشین برای ردیابی، بازدارندگی و درگیری با زیردریایی‌ها، می‌تواند هزینه های عملیات ASW را به میزان قابل توجهی کاهش دهد و نیروی دریایی آمریکا را قادر سازد تا تلاش‌های ASW خود را برای مقابله با تهدید رو به رشد ناشی از ناوگان زیردریایی‌های دشمن افزایش دهد[۲].

شکل ۹- تصویر شناور بدون سرنشین آمریکایی Sea Hunter [۲]

۱-۹- بزرگترین ارتش دنیا به دنبال کوچکتر شدن؛ تمرکز بر بدون سرنشین‌ها

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.5.3]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.43]

تا به امروز مردم دنیا، بزرگترین، سنگین‌ترین و گران‌ترین تجهیزات نظامی را در ارتش آمریکا می‌دیدند ولی امروزه شرایط بکلی تغییر کرده و پنتاگون صراحتا اعلام می‌کند که به دنبال بدون سرنشین کردن، کوچکتر کردن و کم هزینه‌تر کردن تجهیزات خود است از هواپیماهای جنگی تا زیردریایی‌ها و ناوهای غول‌پیکر و ادوات زرهی. پنتاگون در سال ۲۰۲۳ اعلام کرد که در نظر دارد یک تغییر عظیم ایجاد کند تا به مقابله با سرمایه‌گذاری‌های بزرگ چین در تجهیزات نظامی بپردازد. در حالی که چین مقیاس بزرگی را انتخاب کرده است، پنتاگون می‌خواهد به سمت کوچک شدن برود: پنتاگون در ابتکار جدیدش ساخت «هزاران مورد» از سیستم‌های خودکار کوچک روی زمین، در هوا، روی سطح و زیر آب را در نظر دارد، به طوری که آن قدری ارزان باشد تا در مواجهه نبردهای نظامی بدون هزینه سنگین نابود شوند و همه تا سال ۲۰۲۵ تحویل داده شوند[۱۴]. در روز ۲۹ آگوست ۲۰۲۳ معاون وزیر دفاع آمریکا، کتلین هیکس، این چالش را در یک کنفرانس شرکت‌های پیمانکار نظامی در واشنگتن، دی‌سی. شرح داد. او به این نکته اشاره کرد که مزیت چین در «بیشترین تعداد کشتی‌ها، موشک‌ها و افراد» است. چین دارای بزرگ‌ترین ارتش دائمی جهان و بزرگ‌ترین نیروی دریایی از نظر تعداد در کشتی‌هاست و ناوگان خود را به سرعت به‌روزرسانی می‌کند. این کشور می‌تواند از هزاران مایل دورتر هدف‌های دریایی را با استفاده از موشک‌های بالستیک ضد کشتی بزند. ایالات متحده ممکن است نتواند ادعاهای مشابهی داشته باشد، اما به پیشرفته‌ترین مجموعه پروژه‌های تحقیق و توسعه در جنگ‌های بدون سرنشین و خودکار دسترسی دارد[۱۴]. هیکس اشاره کرد، چالش این است که این پروژه‌ها را به مقیاس وسیع ببریم و به سرعت گسترش دهیم. او می‌خواهد در مدت ۱۸ تا ۲۴ ماه آینده "هزاران" پلتفرم خودکار را در دست جنگجویان ببیند. او گفت: «این باعث تسریع پیشرفت در نوآوری نظامی ایالات متحده به سوی بهره‌وری از پلتفرم‌های کوچک، هوشمند و ارزان می‌شود. بنابراین اکنون زمان آن رسیده است که پلتفرم‌های خودکار را به سطح بعدی ببریم: تولید و ارائه قابلیت‌هایی به واحدهای جنگی با حجم و سرعت مورد نیاز برای جلوگیری از تهاجم و پیروز شدن در جنگ در صورت اجبار. او بیان کرد، هدف اولیه این ابتکار، تولید بهترین سیستم‌های کم‌هزینه خودکار، به اندازه‌ی زیاد است، تا بتواند با قدرت نظامی چین مقابله کند. دیدگاه هیکس منعکس کننده درس‌هایی است که از خط مقدم اوکراین گرفته شده‌است، جایی که پهپادهای ارزان قیمت اغلب، نتیجه درگیری‌ها را تعیین می‌کنند نه هواپیماهای جنگنده دارای سرنشین گرانقیمت. پهپادها اهداف را برای توپخانه شناسایی می‌کنند، نارنجک‌ها را روی مواضع دشمن می‌اندازند و مستقیماً خودروهای زرهی را در یک عملیات انتحاری سریع نابود می‌کنند، بدون آن که اپراتورهایشان را به خطر بیندازد. یک پهپاد ۸۰۰ دلاری با مهمات ضدتانک مناسب می‌تواند یک خودروی زرهی میلیون دلاری را نابود کند و هر دو طرف از این دستگاه‌ها برای اعمال خسارت در میدان جنگ، استفاده کرده‌اند[۱۴]. در حوزه‌ی دریایی، اوکراین مجموعه‌ای از قایق‌های انتحاری بدون سرنشین با برد بلند و قدرت ضربه بالا را توسعه داده است. این دستگاه‌ها هنوز نتوانسته‌اند وسیله‌ای را غرق کنند، اما حداقل به دو کشتی جنگی ناوگان دریای سیاه روسیه آسیب رسانده‌اند و نیروی دریایی روسیه را مجبور کرده‌اند با احتیاط بیش‌تری عمل کنند. این کاری بود که شاید براحتی از دست ناوهای بزرگ اوکراینی برنمی‌آمد. آن‌ها همچنین نسبت به موشک‌های دفاعی ساحلی یا کشتی‌های نیروی دریایی سرنشین‌دار بسیار ارزان‌تر هستند و اوکراین ادعا می‌کند که آن‌ها را به تولید انبوه می‌رساند. هیکس اشاره کرد که تعداد زیاد ابزار جنگی روسیه، برنده در جنگ فناوری در اوکراین نشده است و پیشنهاد داد که چین باید از این موضوع درس عبرت بگیرد. هیکس اضافه کرد: «ما باید اطمینان حاصل کنیم هر روز که رهبری جمهوری خلق چین از خواب بیدار می شود، خطرات تخطی خود را در نظر بگیرد و نتیجه بگیرد که «امروز، آن روز نیست!». دریاسالار جان سی. آکیلینو، فرمانده هند و اقیانوسیه ایالات متحده در همین کنفرانس می‌گوید: «ما باید به چینی‌ها نگاه کنیم تا بفهمیم واقعاً کجا هستند و چه می‌کنند: بزرگ‌ترین توسعه نظامی از زمان جنگ جهانی دوم، هم در نیروهای متعارف و هم در نیروهای هسته‌ای استراتژیک. آن‌ها به وضوح بر روی توسعه نیرویی که قادر به مقابله با ایالات متحده باشد، تمرکز کرده‌اند»[۱۴].

۱۰- راهکارهای موجود برای زیردریایی‌ها جهت جلوگیری از انقراض

با وضعیت موجود در رشد فناوری و تجهیزات ASW جهت شفاف نمودن اقیانوس‌ها، قطعا در یکی دو دهه آینده، بزرگترین و گرانقیمت‌ترین و پرخدمه‌ترین زیردریایی‌های نظامی بیشترین آسیب را خواهند دید و بیشتر از همه در معرض خطر خواهند بود. از این رو رویکردهای اصلی زیر می‌تواند راهکاری برای جلوگیری از انقراض زودرس زیردریایی‌های دارای سرنشین باشد: ۱) کاهش ابعاد و تناژ که از طریق کاهش تعداد خدمه و همچنین استفاده از رآکتورهای هسته‌ای فشرده و کوچک قابل پیگیری است. کاهش وزن با کاهش تعداد خدمه، علاوه بر وزن هر خدمه حذف شده به منزله کاهش وزن مواد غذایی، آب شیرین، تاسیسات شیرین‌سازی آب و مخازن ذخیره، تاسیسات پالایش و تهویه فضای داخلی و تجهیزات خواب و فضای بهداشتی می‌باشد. علاوه بر کاهش وزن،

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.5.3]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.43]

در حجم مورد نیاز از فضای داخلی بدنه فشار نیز کاهش زیادی رخ خواهد داد که شامل کاهش فضای خواب و کاهش فضاهای پشتیبانی حیات انسان است. تقریبا نیمی از فضای زیردریایی‌های اتمی به سیستم رانش اختصاص دارد که با کاهش مصارف انرژی و تعداد خدمه و فناوری‌های جدید در ساخت رآکتورهای فشرده می‌توان آن را به شدت کاهش داد.

۲) کاهش خدمه علاوه بر موارد فوق به معنی کاهش تلفات انسانی در صورت انهدام یک زیردریایی خواهد بود.

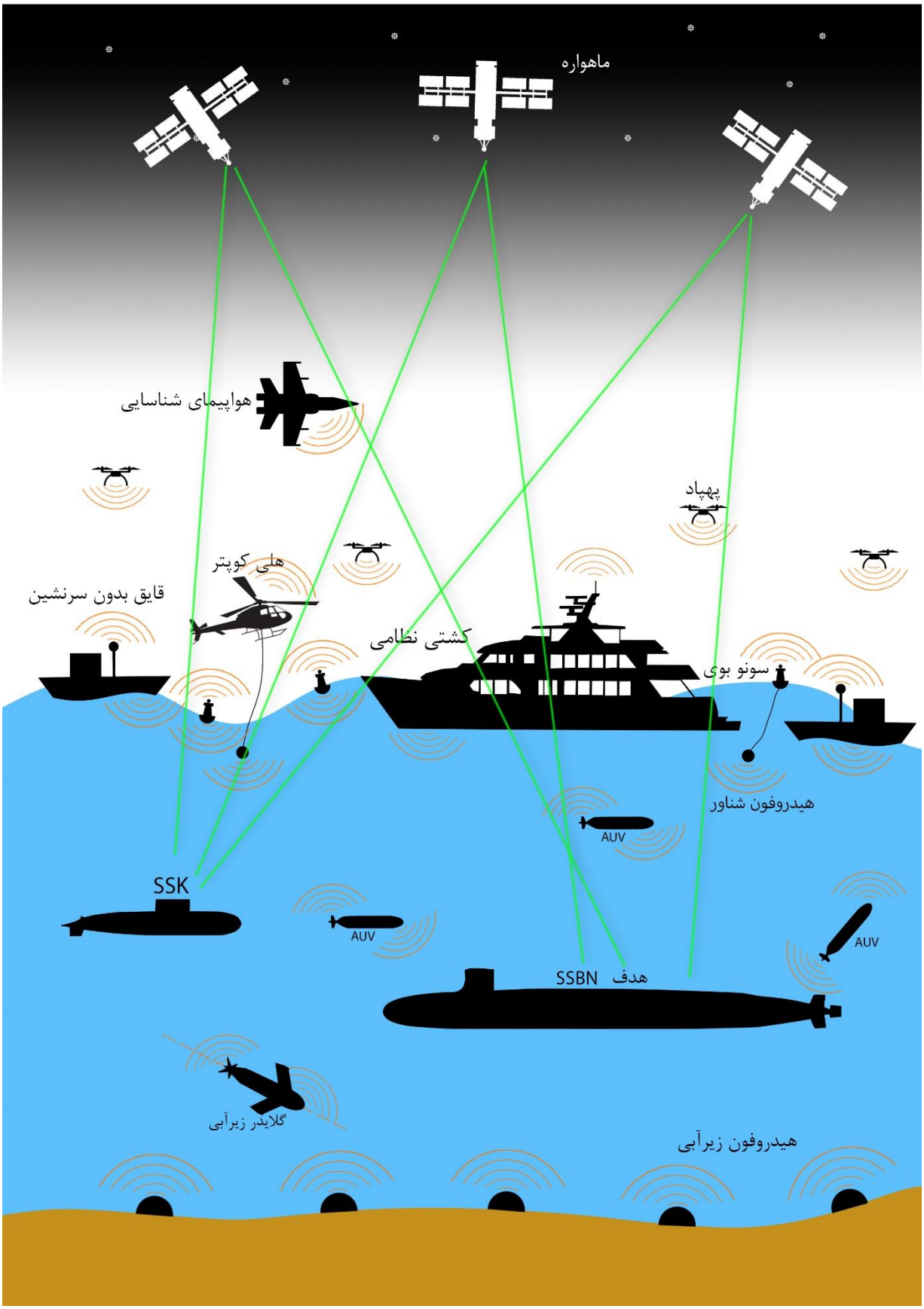
۳) کاهش هزینه که دو مورد فوق نیز بر آن دخیل است.

۴) استفاده گسترده از بدون سرنشین‌ها به عنوان تسلیحات تهاجمی و تدافعی زیردریایی‌های دارای سرنشین. بدین ترتیب استراتژی «تعداد کلان شکار در برابر تعداد کلان شکارچی» برای سالم ماندن خود زیردریایی قابل پیگیری است.

۱۱- جمع‌بندی: آیا دوران زیردریایی‌های اتمی SSBN با ظهور بدون سرنشین‌ها رو به پایان است؟

نتیجه‌گیری مباحث فوق را بدین صورت می‌توان بیان کرد: قابلیت‌های UUVها در شناسایی و ردیابی زیردریایی‌های اتمی حامل موشک‌های بالستیک، آینده و بقاء آنها را با مشکل مواجه کرده است و این ممکن است زمان تصمیم‌گیری پاسخ به تهدیدات هسته‌ای را دچار تغییر کند و کل معادلات بازدارندگی و بالانس هسته‌ای ایالات متحده در چند دهه گذشته و در زمان جنگ سرد تاکنون را تحت تاثیر قرار دهد. بازدارندگی هسته‌ای آمریکا برای ضربه متقابل بر سه نوع پاسخ استوار بوده است: حمله هوایی، حمله از پرتابگرهای زمینی و حمله از زیردریایی. دو مورد اول بدلیل امکان ردیابی فوری پس از شلیک چندان مورد اتکا نبودند و پرتاب از زیردریایی توانسته بود بدلیل مخفی بودن، بیشترین بازدارندگی را ایجاد کند. آمریکا و شوروی در این حوزه از بازدارندگی به توافق خوبی رسیده بودند و همین SSBNها باعث شدند که هرگز در دوران جنگ سرد، جنگ اتمی اتفاق نیفتد. لذا مزیت عمده SSBNها حضور مخفیانه در اقیانوس‌ها بود ولی اگر محیط اقیانوس‌ها هم «شفاف» شوند (یعنی زیردریایی‌ها براحتی مورد شناسایی واقع شوند) دیگر عملا مزیت SSBNهای پرهزینه چه خواهد بود؟. اکثریت کلاهک‌های هسته‌ای استراتژیک ایالات متحده بر روی لانچرهای پرتاب از زیردریایی یا SLBM های Trident II مستقر شده‌اند و پتانسیل یک قابلیت ضربه دوم تضمین شده تقریبا غیرقابل کشف و آسیب ناپذیر باعث شده بود که SSBN ها با کاهش انگیزه‌های حمله اول، پایداری تاریخی بازدارندگی هسته‌ای را باعث شوند. با این حال، اگر فناوری شناسایی و ردیابی به پیشرفت خود ادامه دهد، توانایی SLBM ها برای نگه داشتن دشمنان در معرض خطر و ضربه متقابل، کاهش می‌یابد و در عین حال تمایل به حمله اول در دشمن تقویت می‌گردد. یعنی در واقع احتمال حمله اتمی بین ابرقدرت‌ها افزایش می‌یابد. از آنجایی که UUV ها قابل شناسایی هستند (به ویژه در مقایسه با سیستم‌های سونار غیرفعال و هیدروفون)، دشمنان نیز احتمال بیشتری دارند که بدانند چه زمانی شناسایی شده‌اند و مطابق با آن عمل کنند. در نتیجه، UUV ها این پتانسیل را دارند که با مشخص کردن موقعیت خود، مقدار زمان موجود برای تصمیم گیری دشمن را از بین ببرند[۲]. در هر حال اگر این بالانس هسته‌ای و ترس از ضربه دوم حتمی از بین برود، احتمال درگیری هسته‌ای و خطای محاسباتی دولتها ممکن است افزایش یابد. پیامدهای این وضعیت چیست؟ آیا UUVها باید تحت نوعی توافقنامه کنترل تسلیحات قرار گیرند که تکثیر آنها را محدود کند تا اطمینان حاصل شود که SSBN ها قابل بقا هستند؟ اگر اقیانوس‌ها شفاف شود، آیا کشورها احتمالاً بیشتر به موشکهای هسته‌ای قاره پیمای متحرک زمینی یا مستقر در سیلوهای زیرزمینی، بمب‌افکن‌های سنگین و سایر اشکال افزایش حملات هسته‌ای تکیه خواهند کرد؟ آیا دیگر سرمایه‌گذاری بر روی SSBNها برای ساخت و تعمیر و نگهداری آنها در سالها و دهه‌های آینده معقولانه است؟ در حالی که فناوری‌های قوی ASW نشان‌دهنده افزایش استثنایی قابلیت‌های شناسایی زیرآبی هستند، آیا سرمایه‌گذاری‌های هنگفت بر روی SSBNها و محافظین SSN آنها برای ایجاد ثبات هسته‌ای معقولانه است؟ در هر حال آنچه بدیهی است این است که قطعا در دهه‌های آینده SSBNها نمی‌توانند همچنان نقش و اهمیت منحصربفرد گذشته خود را ادامه دهند. آنها مجبورند دچار تغییرات اساسی شوند یا دوران انقراض خود را بپذیرند.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.5.3]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.43]



شکل ۱۰- شناسایی زیردریایی‌های اتمی به کمک تجهیزات مدرن و بدون سرنشین

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.5.3]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.43]

۱۲- منابع

1- Distributed Agile Submarine Hunting (DASH) Program Completes Milestones (darpa.mil)
https://www.darpa.mil/news-events/2013-04-03

2- New Trident submarines doomed by drones of the future, says new report | Trident | The Guardian
https://www.theguardian.com/world/julian-borger-global-security-blog/2016/feb/29/new-trident-submarines-doomed-by-drones-of-the-future-says-new-report

3- Unmanned Underwater Vehicle (UUV) Systems for Submarine Detection,
A.W. REDDIE, B.L. GOLDBLUM
https://ontheradar.csis.org/issue-briefs/unmanned-underwater-vehicle-uuv-systems-for-submarine-detection-a-technology-primer/

4- Future Vision for Autonomous Ocean Observations
https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2020.00697/full

5- Chinese scientists look to 6G to hunt submarines, testing device small enough to fit on drone
https://www.scmp.com/news/china/science/article/3232682/chinese-scientists-look-6g-hunt-submarines-testing-device-small-enough-fit-drone?utm_source=rss_feed

6- ارائه طرح باتری‌های کوانتومی بدون نیاز به شارژ
https://www.zoomit.ir/fundamental-science/341806-blueprint-for-quantum-battery-doesnt-lose-charge/

7- باتری‌های کوانتومی جهشی بزرگ برای خودروهای الکتریکی خواهند بود
https://batterynetwork.ir/%D8%A8%D8%A7%D8%AA%D8%B1%DB%8C%D9%87%D8%A7%DB%8C-%DA%A9%D9%88%D8%A7%D9%86%D8%AA%D9%88%D9%85%DB%8C-%D8%AC%D9%87%D8%B4%DB%8C-%D8%A8%D8%B2%D8%B1%DA%AF-%D8%A8%D8%B1%D8%A7%DB%8C-%D8%AE%D9%88%D8%AF/

8- ماهواره جاسوسی که زیردریایی های زیر آب را شناسایی می کند
https://sinapress.ir/news/84484/%D9%85%D8%A7%D9%87%D9%88%D8%A7%D8%B1%D9%87-%D8%AC%D8%A7%D8%B3%D9%88%D8%B3%DB%8C-%DA%A9%D9%87-%D8%B2%DB%8C%D8%B1%D8%AF%D8%B1%DB%8C%D8%A7%DB%8C%DB%8C-%D9%87%D8%A7%DB%8C-%D8%B2%DB%8C%D8%B1-%D8%A2%D8%A8/amp/

9- Declining Deterrent Patrols Indicate Too Many SSBNs
https://fas.org/publication/ssbnpatrols/

10- Reduce the Number of Ballistic Missile Submarines
https://www.cbo.gov/budget-options/2013/44770

11- Making The Cut: Reducing The SSBN Force
https://fas.org/publication/ssbnreduction/

12- US SSBN Patrols Steady, But Mysterious Reduction In Pacific In 2017
https://fas.org/publication/ssbnpatrols1960-2017/

13- Russian SSBN Fleet: Modernizing But Not Sailing Much
https://fas.org/publication/russianssbns/

14- Pentagon Wants "Thousands" of Fighting Drones Built in Just Two Years
https://maritime-executive.com/article/pentagon-wants-thousands-of-fighting-drones-built-in-just-two-years

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-09-17]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1402.19.40.5.3]
[DOI: 10.61186/marineeng.19.40.43]