



Enhancing Safety of Ghadir-class Submarines through Development and Optimization of Rescue and Damage-Control Equipment

Mehdi Vahedi¹  | Gholamreza Tahani² | Maziar Jahanbakhsh³

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received

22 September 2025

Received in revised form

23 December 2025

Accepted

12 May 2026

Published online

13 June 2026

Keywords:

Ghadir-class submarine, Submarine safety, Rescue equipment, Damage control, Fire suppression

Background and Objective: The purpose of this research is to identify and prioritize the key equipment indicators for rescue and damage control in order to enhance the safety of Ghadir-class submarines of the Islamic Republic of Iran Navy.

Methodology: This applied research adopted a descriptive-analytical mixed-methods (qualitative-quantitative) exploratory design. In the qualitative phase, data were collected through semi-structured interviews with 9 experts in the subsurface domain (using purposeful and snowball sampling until theoretical saturation) and analysis of technical documents, followed by inductive content analysis. In the quantitative phase, a researcher-made questionnaire (25 Likert-type items) was distributed among 85 operational personnel of Ghadir-class submarines. Content validity was confirmed by experts, and reliability was calculated using Cronbach's alpha (0.82). Data were analyzed using SPSS software with descriptive statistics, Friedman test, and one-sample chi-square test.

Findings: Qualitative findings identified six main equipment categories (emergency escape and rescue, warning and detection, positioning and emergency communication, port support and rescue vessels, internal engineering improvement, and fire suppression). Quantitative findings showed an overall mean of 4.51 (out of 5) and "very high" importance percentages above 68%. The Friedman test indicated no significant difference among indicators ($p > 0.05$), suggesting relatively equal importance of all indices. The chi-square test confirmed the research hypothesis.

Conclusion: Integration of findings emphasizes that enhancing the safety of Ghadir-class submarines requires comprehensive development of internal equipment (safe batteries, water ingress sensors, advanced fire suppression) and external equipment (port facilities and rescue vessels). It is recommended to prioritize the procurement of port equipment and lithium-ion safe batteries.

Cite this article: Vahedi, M. Tahani, G & Jahanbakhsh, M. (2026). Enhancing Safety of Ghadir-class Submarines through Development and Optimization of Rescue and Damage-Control Equipment. *Military Science & Technics*, 75(22), 5-24.

 DOI: <http://doi.org/10.22034/qjmst.2026.2072466.2211>

Publisher: AJA University of Command and Staff, <https://www.qjmst.ir>

© "Authors retain the copyright and full publishing rights."

DOI:10.22034/qjmst.2026.2072466.2211



1. Corresponding author, PhD student in Command of Theater of Operation, AJA Command and Staff University, Tehran, Iran. E-mail: vahedimehdi839@gmail.com

2. Faculty member of the Command and Staff University, AJA Command and Staff University, Tehran, Iran. E-mail: ch_staff400@gmail.com

3. PhD student in Defense Management, AJA Command and Staff University, Tehran, Iran.

E-mail: Iran. E-mail: m.jahanbakhsh@casu.ac.ir



ارتقای ایمنی زیردریایی‌های کلاس غدیر از طریق توسعه و بهینه‌سازی تجهیزات نجات و کنترل صدمات

مهدی واحدی^۱ | غلامرضا طحانی^۲ | مازیار جهانبخش^۳

چکیده

زمینه و هدف: هدف پژوهش، شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های کلیدی تجهیزات نجات و کنترل صدمات برای ارتقای ایمنی زیردریایی‌های کلاس غدیر نیروی دریایی ارتش جمهوری اسلامی ایران است. **روش‌شناسی:** این پژوهش کاربردی با رویکرد توصیفی-تحلیلی آمیخته (کیفی-کمی) اکتشافی انجام شد. در مرحله کیفی، داده‌ها از طریق مصاحبه نیمه‌ساخت‌یافته با ۹ نفر از خبرگان حوزه زیرسطحی (به روش هدفمند و گلوله‌برفی تا اشباع نظری) و بررسی اسناد فنی گردآوری و با روش تحلیل محتوای استقرایی تحلیل گردید. در مرحله کمی، پرسشنامه محقق‌ساخته (۲۵ گویه با مقیاس لیکرت پنج‌گزینه‌ای) میان ۸۵ نفر از کارکنان عملیاتی زیردریایی‌های کلاس غدیر توزیع شد. روایی محتوایی پرسشنامه توسط خبرگان تأیید و پایایی آن با آلفای کرونباخ ۰.۸۲ محاسبه گردید. داده‌ها با نرم‌افزار SPSS و آزمون‌های توصیفی، فریدمن و کای‌دو تک‌نمونه‌ای تحلیل شد.

یافته‌ها: یافته‌های کیفی شش مقوله محوری تجهیزات (نجات اضطراری، هشدار و تشخیص، موقعیت‌یابی، پشتیبانی بندری، مهندسی داخلی و اطفای حریق) را شناسایی کرد. یافته‌های کمی میانگین کلی (۴/۵) از (۵) و درصد "خیلی زیاد" بالای ۶۸٪ را نشان داد. آزمون فریدمن تفاوت معناداری بین شاخص‌ها نشان نداد ($p > 0.05$) و آزمون کای‌دو فرضیه را تأیید کرد.

نتیجه‌گیری: ادغام یافته‌ها تأکید می‌کند ارتقای ایمنی کلاس غدیر نیازمند توسعه جامع تجهیزات داخلی (باتری ایمن، حسگر نفوذ آب، اطفای حریق) و بیرونی (تجهیزات بندری و شناورهای امدادی) است. پیشنهاد می‌شود اولویت تأمین تجهیزات بندری و باتری‌های لیتیومی ایمن قرار گیرد.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۰۶/۳۱

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۴/۱۰/۰۲

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۵/۰۲/۲۲

تاریخ انتشار:

۱۴۰۵/۰۳/۲۳

کلیدواژه‌ها:

زیردریایی کلاس غدیر،

ایمنی زیرسطحی،

تجهیزات نجات، کنترل

صدمات، اطفای حریق.

استناد: واحدی، مهدی؛ طحانی، غلامرضا؛ و جهانبخش، مازیار، (۱۴۰۵). ارتقای ایمنی زیردریایی‌های کلاس غدیر از طریق توسعه و بهینه‌سازی تجهیزات نجات و کنترل صدمات. علوم و فنون نظامی، ۲۲(۷۵)، ۲۴-۵.

DOI: <http://doi.org/10.22034/qjmst.2026.2072466.2211>

ناشر: پژوهشکده سرمایه انسانی دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، <https://www.imhr.ir>

© (حق نشر (کپی رایت) و کلیه حقوق انتشار برای نویسندگان محفوظ است.

DOI:10.22034/qjmst.2026.2072466.2211

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری فرماندهی صحنه عملیات، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، تهران، ایران.

رایانامه: vahedimehdi839@gmail.com

۲. عضو هیئت علمی دانشگاه فرماندهی و ستاد دافوس آجا، تهران، ایران. رایانامه: ch.staff400@gmail.com

۳. دانشجوی دکتری مدیریت دفاعی، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، تهران، ایران. رایانامه: m.jahanbakhsh@casu.ac.ir





Enhancing Safety of Ghadir-class Submarines through Development and Optimization of Rescue and Damage-Control Equipment

Extended Abstract

Background and Objective:

Submarine operations in shallow and high-salinity waters, such as the Persian Gulf, present unique challenges due to compact design, limited space, high equipment density, and environmental risks including water ingress, fire, and toxic gas leaks (hydrogen and carbon dioxide). These hazards can rapidly escalate in confined spaces, leading to loss of life, material damage, and reduced operational readiness and naval deterrence. Ghadir-class submarines, as indigenous midget submarines of the Islamic Republic of Iran Navy, face additional constraints due to their compact structure and mission profile in high-traffic, low-depth areas with regional and extra-regional threats. While international standards (e. g. , SUBSAFE, SOLAS) and incidents such as Thresher (1963) and Kursk (2000) have driven global advancements in rescue and damage control equipment, domestic studies have primarily addressed general maritime safety or specific classes like Fateh, with limited comprehensive research on Ghadir-class equipment tailored to local conditions (high salinity, temperature fluctuations, and corrosion). This research addresses this gap by focusing on the development and optimization of rescue and damage-control equipment. The main objective is to identify and prioritize deficiencies in rescue equipment, warning systems, and damage control mechanisms in Ghadir-class submarines, and to propose technical and organizational solutions to enhance crew survival and operational sustainability. The research question is: "How can safety and survivability of Ghadir-class submarines in assigned missions be improved through the development and optimization of rescue and damage-control equipment?" The hypothesis states that such development and optimization has a positive and significant impact on reducing incident risks and increasing operational readiness.

Methodology:

This applied research employed a descriptive-analytical mixed-methods (qualitative-quantitative) exploratory design with a sequential exploratory approach (qualitative phase followed by quantitative). In the qualitative phase, data were collected through semi-structured interviews with 9 experts (submarine commanders and experienced crew selected via purposeful and snowball sampling until theoretical saturation) and review of primary documents (ND AJA safety regulations, damage control instructions, and technical reports). Data were analyzed using inductive content analysis (open, axial, and selective coding), resulting in the extraction of 64 initial statements and subsequent main themes. Based on qualitative findings, a researcher-made questionnaire (25 five-point Likert-type items) was designed. Content validity was confirmed by 9 academic and operational experts using Lawshe's CVR/CVI, and reliability was established with Cronbach's alpha of 0. 82. The statistical population consisted of operational personnel associated with Ghadir-class submarines. In the quantitative phase, the questionnaire was

distributed to 85 participants selected via available sampling. Data analysis was performed using SPSS version 26, including descriptive statistics (mean, standard deviation, frequency percentages), Friedman test for ranking equipment indicators, and one-sample chi-square test for hypothesis testing.

Findings:

Qualitative analysis identified six main equipment categories: emergency escape and rescue (e. g. , breathing apparatus, escape suits), warning and detection (e. g. , fire detectors, CO₂ sensors, water ingress alarms), positioning and emergency communication (e. g. , underwater locators, GMDSS), port support and rescue vessels (e. g. , support vessels, rapid-response docks), internal engineering improvement (e. g. , safe lithium-ion batteries, diesel cooling), and fire suppression (e. g. , CO₂ systems, Novec 1230, manual extinguishers). Experts emphasized the need for a holistic approach combining internal and external equipment. Quantitative results showed high agreement, with an overall mean of 4. 51 (out of 5) and "very high" importance percentages exceeding 68% across all items. The highest means were for port facilities (dock and fireboats; 4. 58), safe lithium-ion batteries (4. 56), and ballast tank level sensors (4. 56). The Friedman test revealed no significant difference among indicator ranks ($\chi^2 = 11. 35$, $df = 6$, $p = 0. 079 > 0. 05$), indicating relatively equal importance of all equipment categories and the need for comprehensive development. The one-sample chi-square test strongly confirmed the research hypothesis ($\chi^2 = 135. 14$, $df = 4$, $p < 0. 001$, agreement coefficient = 0. 78, indicating strong consensus).

Conclusion:

Integration of qualitative and quantitative findings confirms that enhancing Ghadir-class submarine safety requires simultaneous advancement of internal equipment (safe batteries to reduce explosion risk, multi-layer corrosion-resistant sensors for early warning, and advanced low-volume fire suppression systems such as Novec 1230 and aerosol) and external support (port infrastructure including rapid-response docks and fireboats, dedicated rescue vessels, and underwater positioning systems). The lack of significant ranking differences underscores the interdependent nature of these components in a confined operational environment. These results align with the unique challenges of Ghadir-class operations in the Persian Gulf and highlight the necessity of indigenous adaptation of international technologies while strengthening external rescue capabilities. Practical recommendations include prioritizing procurement of port support equipment and safe lithium-ion batteries in fleet modernization plans, localizing advanced fire suppression and sensor technologies, and enhancing international cooperation for access to modern rescue systems. Future research could examine cost-technical feasibility of localizing fire suppression equipment or conduct comparative studies of Ghadir-class equipment safety with similar foreign classes (e. g. , Kilo or Type 209).

Keywords: *Ghadir-class submarine, Submarine safety, Rescue equipment, Damage control, Fire suppression.*

مقدمه

ایمنی در سامانه‌های زیرسطحی از ارکان اساسی پایداری عملیاتی و بازدارندگی دریایی است. محیط زیردریایی با تراکم بالای تجهیزات، محدودیت فضایی و شرایط محیطی خاص مانند شوری بالا و نوسانات دما، یکی از پرخطرترین حوزه‌های کاری محسوب می‌شود (Iranian Naval Capabilities, 2025). کوچک‌ترین نقص در سامانه‌های ایمنی، از جمله نفوذ آب، آتش‌سوزی یا نشت گازهای سمی، می‌تواند در فضای بسته و محدود زیردریایی به سرعت تشدید شود و حیات خدمه را به خطر اندازد.

بررسی حوادث دریایی بزرگ، اهمیت این موضوع را آشکار کرده است. غرق‌شدن زیردریایی ترشر^۱ در سال ۱۹۶۳ موجب شکل‌گیری برنامه‌ی ساب‌سیف^۲ در نیروی دریایی آمریکا شد (Department of Defense, 2014) و حادثه کورسک^۳ روسیه در سال ۲۰۰۰ ضعف سامانه‌های نجات و تجهیزات تنفسی را به‌عنوان عامل اصلی تلفات معرفی کرد. رزمایش‌های اخیر بین‌المللی مانند مانور دینامیک مونارک (۲۰۲۴)^۴ و توسعه سامانه‌های نجات مستقل در نیروی دریایی کره جنوبی (Army Recognition, 2025)، نشان‌دهنده تلاش جهانی برای ارتقای ایمنی زیرسطحی است.

زیردریایی‌های کلاس غدیر به دلیل طراحی فشرده و مأموریت در آب‌های کم‌عمق خلیج فارس، با محدودیت‌های مضاعفی مواجه‌اند. ناکارآمدی نسبی سامانه‌های اطفای حریق، ظرفیت محدود تجهیزات تنفسی اضطراری و حساسیت پایین حسگرهای گاز، ریسک بروز حوادث را افزایش می‌دهد. از این‌رو ارتقای ایمنی این کلاس از منظر انسانی (کاهش تلفات در بحران‌ها) و از منظر راهبردی (حفظ آمادگی رزمی و پایداری ناوگان) ضرورت دارد. منطقه مأموریت زیردریایی‌های غدیر با عمق کم، تردد سنگین نفتکش‌ها و تهدیدات فرامنطقه‌ای، محیطی بسیار پرریسک برای عملیات زیرسطحی به شمار می‌رود (GAO, 2023).

¹Thresher: ترشر

² SUBSAFE: سامانه ایمنی زیردریایی

³ Kursk: کورسک

⁴ Dynamic Monarch: مانور دینامیک مونارک

پژوهش‌های داخلی نیز بر لزوم نوسازی تجهیزات ایمنی تأکید دارند. مولایی (۱۳۹۸) ضعف تجهیزات نجات انفرادی را از عوامل بروز سوانح یگان‌های زیرسطحی دانسته است. اصغری شلمانی (۱۴۰۲) بر ارتقای سامانه‌های اطفای حریق و هشدار گاز در کلاس فاتح تأکید کرده و جهانبخش و همکاران (۱۴۰۲) نیز محدودیت تجهیزات پشتیبانی حیات غواصی را عاملی مؤثر بر عملکرد مأموریت معرفی کرده‌اند. این یافته‌ها با الزامات سازمان بین‌المللی دریانوردی (IMO, 2023) درباره به‌کارگیری تجهیزات پیشرفته کشف و اطفای حریق هم‌راستا است.

با وجود این، تاکنون پژوهش جامعی درباره‌ی وضعیت تجهیزات ایمنی زیردریایی‌های کلاس غدیر متناسب با شرایط محیطی خاص منطقه تحت مأموریت (شوری بالا، عمق کم و تراکم تردد) انجام نشده است. در این میان، نوآوری پژوهش حاضر در بهره‌گیری از رویکرد ترکیبی کیفی-کمی و جمع‌آوری داده‌های میدانی از خدمه عملیاتی است که امکان طراحی راهکارهای بومی و واقع‌گرایانه را فراهم می‌سازد.

هدف اصلی پژوهش، ارتقای ایمنی زیردریایی‌های کلاس غدیر از طریق توسعه و بهینه‌سازی تجهیزات نجات و کنترل صدمات است. بدین‌منظور سؤال تحقیق این است:

«چگونه می‌توان از طریق توسعه و بهینه‌سازی تجهیزات نجات و کنترل صدمات، ایمنی زیردریایی‌های کلاس غدیر را ارتقا داد؟»

فرضیه پژوهش بیان می‌دارد که توسعه و بهینه‌سازی تجهیزات نجات و کنترل صدمات، تأثیر مثبت و معناداری بر کاهش ریسک حوادث و افزایش آمادگی عملیاتی زیردریایی‌های کلاس غدیر دارد.

با توجه به تغییر محیط‌های عملیاتی و نیاز به افزایش تاب‌آوری سامانه‌های زیرسطحی در شرایط رزمی نوین، بررسی علمی عوامل مؤثر بر ایمنی زیردریایی‌های کلاس غدیر می‌تواند مبنای بهینه‌سازی راهبردی در طراحی، آموزش و تجهیزات نیروهای زیرسطحی جمهوری اسلامی ایران باشد.

مبانی نظری

مفهوم ایمنی در زیردریایی‌ها

ایمنی در سامانه‌های زیرسطحی به مجموعه‌ای از اقدامات فنی، تجهیزاتی و آموزشی اطلاق می‌شود که هدف آن کاهش خطرات احتمالی و افزایش شانس بقا در شرایط بحرانی است. برخلاف شناورهای سطحی، محدودیت فضا، فشار محیطی، تراکم سامانه‌ها و نبود مسیرهای خروج اضطراری، مدیریت ایمنی در زیردریایی‌ها را پیچیده‌تر می‌سازد (IMO, 2023). استاندارد بین‌المللی سولاس^۱ تأکید دارد که طراحی ایمنی باید بر پایه‌ی ارزیابی ریسک محیطی صورت گیرد. در مناطق با شوری بالا و عمق کم، مانند خلیج فارس، تجهیزات باید در برابر خوردگی و تغییرات دما مقاوم باشند (Iranian Naval Capabilities, 2025).

در زیردریایی‌های کلاس غدیر، به دلیل فضای بسیار محدود و فشار عملیاتی بالا، مفهوم ایمنی باید از سطح «پاسخ به حادثه» فراتر رفته و شامل «پایش مداوم وضعیت» و «آموزش واکنش سریع» شود.

تهدیدات اصلی ایمنی در زیردریایی‌ها

تهدیدات ایمنی به سه دسته تقسیم می‌شوند:

فنی: نقص سامانه‌های پیشران، تهویه و برق (Depetro et al., 2021).

محیطی: فشار شدید آب، مین‌های دریایی و انفجار خارجی، که در منطقه مأموریت به علت عمق متوسط کم تشدید می‌شوند (Iranian Naval Capabilities, 2025).

انسانی: خطای بهره‌برداری یا خستگی عملیاتی (مولایی، ۱۳۹۸).

در زیردریایی‌های کلاس غدیر، تهدیدات فنی و انسانی نسبت به محیطی برجسته‌ترند، زیرا ساختار فشرده این کلاس احتمال بروز خطای انسانی در شرایط بحرانی را افزایش می‌دهد.

کنترل صدمات^۲

کنترل صدمات شامل تشخیص سریع، اقدام فوری و بازگرداندن وضعیت پایدار است. مهم‌ترین تجهیزات عبارت‌اند از سامانه‌های اطفای حریق (افام ۲۰۰^۱، نووک ۱۲۳۰^۲، آیروسل^۳ و

^۱SOLAS: Safety Of Life At Sea

^۲ Damage Control: کنترل صدمات

تجهیزات پرتابل) و جداسازی مقاطع آسیب‌دیده (DoD, 2014; Rohilla et al., 2022). دستگاه‌های تنفس اضطراری^۴ و همچنین سامانه‌های هشدار دود و گاز. مطالعات داخلی نیز نشان می‌دهد نبود تجهیزات کافی، زمان واکنش خدمه را افزایش می‌دهد (مولایی، ۱۳۹۸). ادبیات کنترل صدمات نشان می‌دهد سرعت شناسایی، جداسازی و مهار حادثه مهم‌ترین عامل جلوگیری از گسترش خسارت است. در زیردریایی‌های کلاس غدیر که فضای داخلی محدود و زمان واکنش بسیار کوتاه است، این اصول اهمیت دوچندان دارد. بنابراین این مبانی نظری، نقش سامانه‌های اطفای نوین، تجهیزات تنفسی اضطراری و سامانه‌های هشدار سریع را به‌عنوان عوامل اصلی مدل مفهومی پژوهش تقویت می‌کند.

تجهیزات نجات زیردریایی

تجهیزات نجات شامل ابزارهای فردی (لباس‌های فشار مقاوم، دستگاه‌های تنفسی مدار بسته، کپسول‌های بقا، زنگ‌های نجات) و گروهی (زیردریایی نجات‌دهنده^۵، کشتی آتش‌خوار و داک‌های شناور) است. (Ji et al., 2024; OceanWorks, 2023) سامانه رسوس^۶، نمونه‌ای از فناوری مدرن است که عملیات در عمق‌های مختلف را پشتیبانی می‌کند. استانداردهای جدید نیز بر استقلال عملکرد این تجهیزات از سامانه‌های داخلی زیردریایی تأکید دارند. مرور پژوهش‌ها نشان می‌دهد کارآمدی تجهیزات نجات زمانی تضمین می‌شود که این تجهیزات مستقل از سامانه‌های داخلی زیردریایی عمل کنند. با توجه به آسیب‌پذیری بیشتر کلاس غدیر در برابر نقص‌های فنی، استفاده از تجهیزات مستقل مانند دستگاه تنفس اضطراری، کپسول‌های بقا و بویه‌های موقعیت‌یاب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این نکته به‌طور مستقیم در طراحی مدل مفهومی پژوهش و تعیین شاخص‌های اصلی ایمنی مؤثر است.

^۱ افام ۲۰۰: FM200

^۲ نووک ۱۲۳۰: Novec 1230

^۳ آبروسل: Aerosol

^۴ دستگاه تنفس اضطراری: EEBD

^۵ زیردریایی نجات‌دهنده عمقی: DSRV

^۶ سامانه نجات رسوس: RESUS

سامانه‌های هشدار و پایش

گازسنج‌ها و حسگرهای تشخیص گاز برای شناسایی نشت گازهای سمی یا قابل‌اشتعال (Cho et al. , 2021 ؛ Ba Hashwan et al. , 2023)، سامانه ایپر^۱ و سارت^۲ (ارسال سیگنال اضطراری به سطح و موقعیت‌یابی زیردریایی حادثه‌دیده) و سنسورها و آلارم‌های هشداردهنده صوتی برای اطلاع‌رسانی سریع به خدمه نقش اساسی در تشخیص سریع دارند. ارتقای این سامانه‌ها در کلاس فاتح کارایی عملیاتی را افزایش داده است (اصغری شلمانی، ۱۴۰۲).

ادبیات نشان می‌دهد هرگونه تأخیر در هشداردهی یا تشخیص نشت گاز، دود یا آب در محیط زیرسطحی می‌تواند به حادثه جدی منجر شود. از آنجا که زیردریایی‌های کلاس غدیر فاقد سامانه‌های پیچیده هشدار چندلایه هستند، تقویت این تجهیزات یکی از اولویت‌های اصلی ایمنی است. بنابراین این مباحث، جایگاه تجهیزات هشدار و پایش را به‌عنوان یکی از محورهای کلیدی مدل پژوهش تثبیت می‌کند.

تجهیزات اطفای حریق و آب‌گرفتگی

آتش‌سوزی و نفوذ آب از شایع‌ترین خطرات زیردریایی‌اند. سامانه افام ۲۰۰ (گاز بی‌اثر برای خاموش‌سازی بدون آسیب به تجهیزات)، سامانه نووک ۱۲۳۰ (جایگزین دوستدار محیط زیست برای افام ۲۰۰)، آبروسل و توپ‌های اطفای حریق (مناسب برای محفظه‌های کوچک) و پمپ‌های تخلیه (برای کنترل آب‌گرفتگی ناشی از آسیب بدنه) از تجهیزات اصلی کنترل صدمات هستند (Aydin et al. , 2019; Rujia et al. , 2022).

در کلاس غدیر، به‌دلیل محدودیت حجم و تهویه، استفاده از سامانه‌های کم‌حجم و بی‌اثر برای تجهیزات حیاتی مانند آبروسل، بهترین گزینه است. بر اساس مرور ادبیات و استانداردهای بین‌المللی، تجهیزات ایمنی زیردریایی‌ها را می‌توان مطابق جدول (۱) دسته‌بندی نمود.

^۱ EPIRB: بیکن موقعیت اضطراری

^۲ SART: جستجو و نجات ترانسپوندر

جدول (۱) دسته‌بندی تجهیزات ایمنی زیردریایی‌های کلاس غدیر بر اساس کارکرد

دسته تجهیزات	کارکرد اصلی	نمونه‌ها
کنترل صدمات	مهار آتش و جلوگیری از گسترش خسارت	Novec, FM200, آيروسل، توپ اطفای حریق، کشتی آتش‌خوار
تنفسی و بقا	ادامه حیات در شرایط اضطراری	SCBA, EEBD, لباس نجات، کپسول بقا
هشدار و پایش	شناسایی سریع حادثه	سنسور گاز، حسگر دود، آلارم صوتی، گازسنج پرتابل
تخلیه و جداسازی	مقابله با آبگرفتگی	پمپ تخلیه آب، دریچه‌های جداسازی، داک شناور
نجات فردی و گروهی	خروج اضطراری و نجات خدمه	بویه نجات، SART, EPIRB, زیردریایی نجات‌دهنده، کشتی SAR, RESUS

منبع: نگارندگان، بر اساس (Turner and Roberts (2008)، (Department of Defense (2014)، Depetro et al. (2021)، Ji et al (2024) و Pereira et al (2024).

استانداردها و برنامه‌های بین‌المللی ایمنی

کد ایمنی آتش (IMO (FSS Code, 2017) و برنامه‌ی ساب‌سیف نیروی دریایی آمریکا، اصول جامع طراحی، نگهداری و کنترل صدمات را تبیین کرده‌اند. رزمایش‌های بین‌المللی داینامیک مونارک و تلاش‌های جهانی برای ارتقای ایمنی زیرسطحی نیز بر آمادگی مداوم خدمه تأکید دارند. بررسی استانداردهای داخلی و بین‌المللی نشان می‌دهد که بسیاری از الزامات جهانی ایمنی زیرسطحی برای زیردریایی‌های بزرگ طراحی شده‌اند و با ویژگی‌های کلاس غدیر تطابق کامل ندارند. این ناسازگاری نشان‌دهنده شکاف جدی در استانداردسازی ایمنی برای زیردریایی‌های کوچک است. بنابراین در مدل مفهومی پژوهش، نیاز به بومی‌سازی استانداردها به‌عنوان یکی از محورها مورد توجه قرار می‌گیرد.

پیشینه تحقیق

مرور پیشینه‌های پژوهشی داخلی و خارجی نشان‌دهنده اهمیت روزافزون ایمنی در سامانه‌های زیرسطحی است. این‌بخش به بررسی مطالعات انجام‌شده در ایران و جهان پرداخته و با شناسایی خلأهای موجود، پایه‌ای برای فرضیه پژوهش فراهم می‌کند.

مطالعات داخلی

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های داخلی متعددی به بررسی ابعاد ایمنی در عرصه‌های دریایی و زیرسطحی پرداخته‌اند.

مولایی (۱۳۹۸) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود تأکید کرده است که عوامل تجهیزاتی نقش مؤثری در بروز سوانح یگان‌های زیرسطحی نیروی دریایی ارتش جمهوری اسلامی ایران طی یک دهه گذشته داشته‌اند. وی نتیجه گرفت که با توجه به گسترش حوزه مأموریت‌های نداجا و اهمیت یگان‌های زیرسطحی، تجهیز این یگان‌ها به سامانه‌های نوین ایمنی و به‌ویژه تجهیزات نجات اضطراری (اعم از انفرادی و گروهی) ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. به باور وی، هرگونه نقص یا کمبود در این تجهیزات می‌تواند فرآیند کنترل صدمات را مختل سازد.

اصغری شلمانی (۱۴۰۲) در پژوهش کارشناسی خود به بررسی عملکرد زیردریایی‌های نیمه‌سنگین کلاس فاتح پرداخت و نشان داد که ارتقای تجهیزات ایمنی می‌تواند به‌طور مستقیم کارایی عملیاتی و تاب‌آوری این زیردریایی‌ها را افزایش دهد.

جهانبخش (۱۴۰۰) نیز در مطالعه‌ای بر تجهیزات پشتیبانی حیات غواصی نظامی تأکید نمود که کیفیت و کارآمدی این تجهیزات نقش مهمی در ایمنی یگان‌های غواصی و موفقیت مأموریت‌های آنان ایفا می‌کند.

با وجود این تلاش‌ها، اغلب پژوهش‌های داخلی بر ایمنی کلی شناورهای سطحی یا حوزه غواصی متمرکز بوده و کمتر به ارزیابی جامع تجهیزات ایمنی در زیردریایی‌های کلاس غدیر پرداخته‌اند. در جدول ۲ شکاف‌های پژوهشی هر کدام با پژوهش حاضر بیان شده است.

مطالعات خارجی

ادبیات پژوهشی بین‌المللی در حوزه ایمنی زیردریایی بسیار گسترده‌تر است و عمدتاً بر توسعه فناوری‌های نوین و آموزش‌های تخصصی تمرکز دارد.

وزارت دفاع آمریکا (Department of Defense, 2014) دستورالعمل جامعی در زمینه کنترل صدمات ارائه کرده و بر ضرورت دسترسی سریع به تجهیزات حیاتی در شرایط اضطراری تأکید کرده است. در همین راستا، نیروی دریایی ایالات متحده (U. S. Navy, 2025) نقش

آموزش‌های مداوم و جایگاه کنترل‌کننده صدمات^۱ را به‌عنوان یکی از ارکان ارتقای آمادگی عملیاتی معرفی می‌کند.

Ji et al. (2024) و Pereira et al. (2024) بر اهمیت سامانه‌های نجات و تمرین‌های میدانی در رزمایش‌های بین‌المللی مانند رپموس^۲ و داینامیک مونارک تأکید کرده‌اند.

Depetro et al. (2021) تحلیل ریسک ایمنی در زیردریایی‌های متعارف و نقش تجهیزات اطفای حریق نوین را مورد بررسی قرار داده‌اند.

Rujia et al. (۲۰۲۲) و Rohilla et al. (۲۰۲۲)؛ کارایی سیستم‌های افام ۲۰۰ و آبروسل را در کاهش خطر انفجار و آتش‌سوزی نشان داده‌اند.

شرکت OceanWorks International (2023) به طراحی سامانه‌های نجات مستقل پرداخته که حتی در صورت از کار افتادن کامل سامانه‌های داخلی زیردریایی، توانایی تخلیه ایمن خدمه را دارند. همچنین، سامانه رسوس (فناوری نجات اضطراری مستقل مبتنی بر پیشران‌ش شیمیایی) امکان نجات در اعماق مختلف را بدون وابستگی به تجهیزات داخلی زیردریایی فراهم می‌سازد. رزمایش‌های بین‌المللی مانند رزمایش داینامیک مونارک و عملیات‌های نجات زیرسطحی یا تلاش جهانی برای ارتقای ایمنی زیرسطحی در سال ۲۰۲۲ نشان داده‌اند که کشورهای عضو ناتو و سایر قدرت‌های دریایی به‌طور مستمر در حال آزمایش، بهبود و استانداردسازی سامانه‌های نجات خود هستند.

همچنین، گزارش Army Recognition (2025) از ادغام موفق سامانه‌های پیشرفته نجات در نیروی دریایی کره جنوبی حکایت دارد که الگویی برای توسعه بومی نیز می‌تواند باشد. در سطح سیاست‌گذاری، گزارش دفتر حسابرسی ایالات متحده (GAO, 2023) درباره آتش‌سوزی‌های اخیر در ناوهای جنگی آمریکا تأکید کرده است که مستندسازی درس‌آموخته‌ها، بازنگری دستورالعمل‌ها و آموزش‌های مکرر، برای پیشگیری از تکرار حوادث مشابه ضروری است.

^۱ Damage Controlman: کنترل‌کننده صدمات

^۲ REPMUS: رزمایش چندجانبه ناتو

جدول (۲) جدول تطبیقی پیشینه پژوهش

دسته	پژوهش	موضوع/تمرکز	نقاط ضعف / شکاف‌ها	یافته‌های اصلی
داخلی	مولایی (۱۳۹۸)	عوامل تجهیزاتی در سوانح یگان‌های زیرسطحی نذاجا	تمرکز بر کلیت یگان‌های زیرسطحی؛ عدم بررسی جزئی زیردریایی‌های کلاس غدیر	نقش مستقیم کاستی تجهیزات ایمنی در بروز سوانح؛ ضرورت تجهیز زیردریایی‌ها به سامانه‌های مدرن نجات فردی و گروهی
	اصغری شلمانی (۱۴۰۲)	ارتقای تجهیزات زیردریایی‌های نیمه‌سنگین کلاس فاتح	تمرکز بر کلاس فاتح؛ عدم تعمیم‌پذیری کامل به کلاس غدیر	ارتقای سامانه‌های پایش و هشداردهنده منجر به افزایش سطح ایمنی عملیاتی می‌شود
	جهانی‌بخش و همکاران (۱۴۰۰)	ایمنی و تجهیزات پشتیبانی حیات غواصی نظامی	محدود به یگان‌های غواصی؛ عدم تمرکز مستقیم بر تجهیزات ایمنی زیردریایی	نقش حیاتی تجهیزات پشتیبانی حیات در ارتقای ایمنی عملیات غواصی و زیردریایی
خارجی	DoD (2014)	دستورالعمل کنترل صدمات در زیردریایی‌ها	استانداردهای غربی؛ عدم انطباق با شرایط عملیاتی ایران	لزوم دسترسی سریع به تجهیزات حیاتی در شرایط اضطراری
	U. S. Navy (2023)	جایگاه Damage Controlman و آموزش خدمه	شرایط آموزشی و تجهیزاتی متفاوت از ایران	اهمیت آموزش مداوم و تمرین‌های عملیاتی در ارتقای تاب‌آوری
	OceanWorks (2023)	طراحی سامانه‌های نجات مستقل	فناوری گران‌قیمت؛ چالش در بومی‌سازی	سامانه‌های نجات باید بدون وابستگی به سیستم‌های داخلی عمل کنند
	Space Propulsion (2023)	سامانه RESUS	آزمایش محدود؛ عدم کاربرد گسترده عملیاتی	قابلیت نجات در اعماق مختلف و عملکرد مستقل
	Naval News (2022, 2024)	رزمایش‌های	تمرکز بر ناتو؛ عدم توجه به	تمرین‌های مداوم،

دسته	پژوهش	موضوع/تمرکز	نقاط ضعف / شکاف‌ها	یافته‌های اصلی
		بین‌المللی نجات زیردریایی	شرایط ژئوپلیتیکی منطقه	ارتقای آمادگی عملیاتی و فناوری
	GAO (2023)	گزارش آتش‌سوزی ناوهای آمریکا	محدود به ناوهای سطحی؛ تعمیم‌پذیری محدود برای زیردریایی‌ها	اهمیت درس‌آموخته‌ها و آموزش در پیشگیری از حوادث
	Army Recognition (2025)	ادغام سامانه‌های نجات در نیروی دریایی کره جنوبی	شرایط عملیاتی متفاوت از ایران و خلیج فارس	بهره‌گیری موفق از سامانه‌های نجات پیشرفته
	Ji et al. (2024), Pereira et al. (2024).	نجات و فرار از زیردریایی	تمرکز بر رزمایش‌های ناتو؛ عدم پوشش شرایط منطقه	اهمیت رزمایش‌های نجات زیردریایی (REPMUS, Dynamic) (Monarch)
	.Depetro et al (2021)	ریسک ایمنی حریق زیردریایی	کمبود داده‌های میدانی در شرایط عملیاتی سخت	تحلیل ریسک ایمنی زیردریایی‌های متعارف؛ کارایی تجهیزات نوین اطفای حریق
	Rujia et al. (2022), Rohilla et al. (2022)	سامانه‌های اطفای حریق نوین	تمرکز بر محیط‌های صنعتی؛ نیاز به انطباق با زیردریایی‌ها	کارایی FM200 و آیروسل در کاهش خطر انفجار و آتش

جمع‌بندی مبانی نظری و پیشینه پژوهش

ترکیب مبانی نظری با پیشینه‌های داخلی و بین‌المللی نشان می‌دهد که ایمنی زیردریایی‌ها حاصل تعامل سه مؤلفه اصلی است: توانایی پیشگیری از حادثه، ظرفیت واکنش سریع به صدمات و امکان تداوم بقا در شرایط اضطراری. مدل‌های کنترل صدمات، نظریه‌های مرتبط با تجهیزات نجات و استانداردهای هشداردهی هر یک بخشی از این زنجیره را تبیین می‌کنند؛ با این حال، در زیردریایی‌های کلاس غدیر به‌دلیل ساختار فشرده، محدودیت فضایی و شرایط عملیاتی خاص خلیج فارس (شوری بالا، عمق کم و تردد سنگین)، محورهای «واکنش سریع» و «تداوم بقا» اهمیت بیشتری دارند.

پژوهش‌های داخلی عمدتاً به ایمنی دریایی در سطح کلی پرداخته و کمتر وارد جزئیات مربوط به تجهیزات ویژه زیردریایی‌ها شده‌اند؛ این مطالعات بیشتر بر موضوعاتی همچون سامانه‌های اطفای حریق، تجهیزات پشتیبانی حیات غواصی و آموزش‌های ایمنی متمرکز بوده‌اند، اما بررسی جامع تجهیزات ایمنی زیردریایی‌های کلاس غدیر در آن‌ها مشاهده نمی‌شود. از سوی دیگر، پژوهش‌های خارجی اگرچه به پیشرفت‌های فناورانه در حوزه سامانه‌های نجات، تجهیزات کنترل صدمات و آموزش‌های تخصصی پرداخته‌اند، اما این یافته‌ها به‌طور کامل با شرایط عملیاتی و بومی خلیج فارس و زیردریایی‌های کلاس غدیر انطباق ندارند.

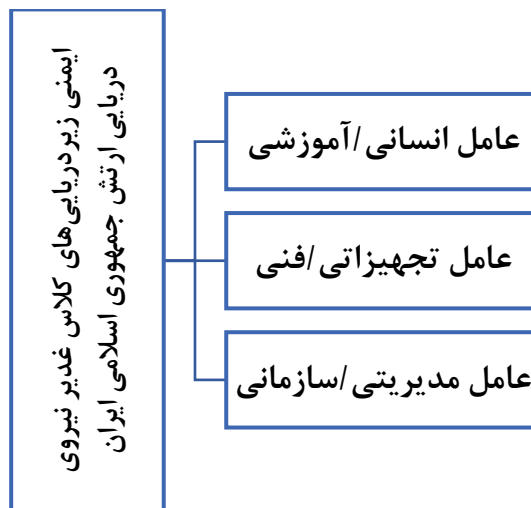
بنابراین، یک خلأ پژوهشی روشن وجود دارد: تاکنون مطالعه‌ای نظام‌مند برای ارزیابی وضعیت تجهیزات ایمنی زیردریایی‌های کلاس غدیر، مقایسه آن با استانداردهای جهانی و ارائه راهکارهای بومی صورت نگرفته است. پژوهش حاضر دقیقاً با هدف پر کردن این شکاف و بهره‌گیری از رویکرد ترکیبی کیفی-کمی و داده‌های میدانی از خدمه عملیاتی طراحی شده است.

با ادغام مبانی نظری و پیشینه پژوهش، سه محور کلیدی برای مدل مفهومی پژوهش استخراج گردید: (۱) کارایی سامانه‌های کنترل صدمات و اطفای حریق (با اولویت تجهیزات کم‌حجم و مقاوم)، (۲) اثربخشی تجهیزات نجات فردی و گروهی (با تأکید بر استقلال از سامانه‌های داخلی) و (۳) قابلیت سامانه‌های هشدار و پایش در تشخیص سریع شرایط بحرانی. این سه محور بنیان اصلی مدل پژوهش را تشکیل داده و شاخص‌های عملیاتی مقاله بر اساس آن‌ها طراحی شده‌اند.

بر اساس این مبانی، فرضیه اصلی پژوهش به شرح زیر تدوین گردید: «توسعه و بهینه‌سازی تجهیزات نجات و کنترل صدمات، تأثیر مثبت و معناداری بر ارتقای ایمنی زیردریایی‌های کلاس غدیر دارد».

در مجموع، مبانی نظری و پیشینه پژوهش تأکید می‌کنند که ارتقای هم‌زمان تجهیزات فنی، سامانه‌های هشدار هوشمند و آموزش‌های تخصصی، کارآمدترین راهبرد برای کاهش ریسک حوادث در کلاس غدیر است، راهبردی که چارچوب مفهومی پژوهش حاضر نیز بر آن استوار است.

چارچوب مفهومی استخراج شده از مبانی نظری در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱) مدل مفهومی ارتقای ایمنی زیردریایی‌های کلاس غدیر از طریق توسعه تجهیزات نجات و کنترل صدمات

روش‌شناسی

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت و روش اجرا، توصیفی-تحلیلی با رویکرد آمیخته (کیفی-کمی) اکتشافی است. انتخاب رویکرد آمیخته با هدف ترکیب نقاط قوت روش‌های کیفی (عمق درک تجربی از چالش‌های تجهیزاتی) و کمی (تعمیم‌پذیری و اولویت‌بندی آماری) برای ارائه راهکارهای واقع‌گرایانه و بومی در توسعه و بهینه‌سازی تجهیزات نجات و کنترل صدمات زیردریایی‌های کلاس غدیر صورت گرفت.

جامعه آماری پژوهش شامل تمام کارکنان عملیاتی و کارشناسان مرتبط با زیردریایی‌های کلاس غدیر نیروی دریایی ارتش جمهوری اسلامی ایران است. با توجه به ماهیت تخصصی جامعه، نمونه‌گیری در مرحله کیفی به روش هدفمند و گلوله‌برفی و در مرحله کمی به روش تصادفی ساده انجام شد. حجم نمونه در بخش کیفی ۹ نفر از خبرگان (خبرگان و فرماندهان

باسابقه حوزه زیردریایی‌های کلاس غدیر) و دربخش کمی بر اساس فرمول کوکران، ۸۵ نفر تعیین گردید.

ابزار گردآوری داده‌ها شامل سه منبع بود:

- مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای (آیین‌نامه‌های ایمنی نداجا، دستورالعمل‌های کنترل صدمات و اسناد فنی تجهیزات)
 - مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با ۹ خبره در حوزه تجهیزات ایمنی و عملیات نجات
 - پرسشنامه محقق‌ساخته شامل گویه‌های مرتبط با تجهیزات نجات، کنترل صدمات و سامانه‌های هشدار (۲۵ گویه با مقیاس پنج‌گزینه‌ای لیکرت)
- روایی محتوایی پرسشنامه با نظر خبرگان (ضریب لاوشه CVI/CVR) تأیید شد. پایایی ابزار نیز با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ ۰.۸۲ به‌دست آمد که بیانگر پایایی مطلوب است.
- تحلیل داده‌ها در دو مرحله انجام شد؛
- بخش کیفی: تحلیل محتوای استقرایی داده‌های حاصل از مصاحبه‌ها و اسناد برای شناسایی مؤلفه‌های کلیدی تجهیزات
- بخش کمی: تحلیل داده‌های پرسشنامه با نرم‌افزار SPSS شامل آمار توصیفی (میانگین، انحراف معیار، درصد فراوانی) و آزمون‌های استنباطی (آزمون فریدمن برای رتبه‌بندی مؤلفه‌های تجهیزاتی و آزمون کای‌دو تک‌نمونه‌ای)
- در مرحله نهایی، نتایج کیفی و کمی با رویکرد آمیخته ادغام گردید. مضامین کیفی به تدوین گویه‌های پرسشنامه منجر شدند و نتایج کمی اعتبار یافته‌های کیفی را تقویت کردند. در نهایت، یافته‌های حاصل از دوبخش پس از تحلیل جداگانه، در مرحله تفسیر نهایی به‌صورت تلفیقی مورد بررسی قرار گرفتند تا تصویری جامع از عوامل مؤثر بر ارتقای ایمنی از طریق تجهیزات در زیردریایی‌های کلاس غدیر ارائه شود.

یافته‌های پژوهش

یافته‌های پژوهش در دو مرحله کیفی و کمی ارائه می‌شود. ابتدا نتایج تحلیل محتوای کیفی مصاحبه‌ها، سپس نتایج آماری بخش کمی و در نهایت ادغام یافته‌های آمیخته بررسی گردید.

یافته‌های کیفی

تحلیل محتوای مصاحبه‌های نیمه‌ساخت یافته با ۹ خبره (تا رسیدن به اشباع نظری) منجر به استخراج ۶۴ گزاره اولیه و سپس مقوله‌های محوری گردید که در جدول (۳) نشان داده شده است.

خبرگان بر ضرورت نگاه جامع به ایمنی (ترکیب تجهیزات داخلی و پشتیبانی بیرونی) تأکید داشتند و نشان داد که خبرگان علاوه بر تجهیزات داخلی، به پشتیبانی بیرونی (تجهیزات بندری و شناورهای امدادی) نیز تأکید جدی دارند. این تأکید نشان‌دهنده ضرورت یک نگاه جامع به ایمنی زیردریایی است.

جدول (۳) مضامین اصلی استخراج شده از مصاحبه‌های کیفی

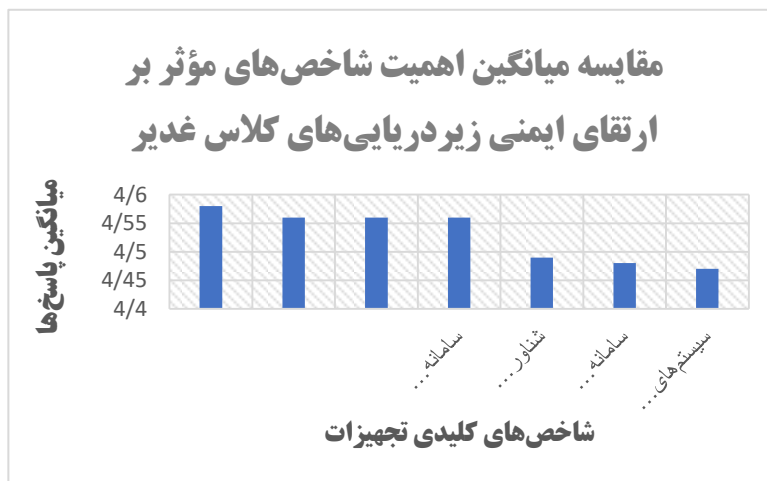
مقوله محوری	زیرمؤلفه‌ها	اهمیت کاربردی	نمونه نقل قول‌ها
تجهیزات نجات و فرار اضطراری	دستگاه تنفس، لباس نجات	بقا در شرایط اضطرار	«دسترسی سریع به دستگاه تنفس می‌تواند تفاوت بین مرگ و زندگی باشد.»
سامانه‌های هشدار و تشخیص	آشکارساز حریق، حسگر CO ₂ ، هشدار نفوذ آب	پیشگیری و واکنش سریع	«نبود هشدار نفوذ آب، واکنش را چند دقیقه به تأخیر می‌اندازد.»
سیستم‌های موقعیت‌یابی و ارتباط اضطراری	موقعیت‌یاب زیرآبی، GMDSS	تسهیل امداد	«در بحران‌ها، بدون ارتباط اضطراری، عملیات نجات تقریباً ناممکن است.»
پشتیبانی بندری و شناورهای امدادی	شناور پشتیبان، داک واکنش سریع	تکمیل چرخه ایمنی	«شناور پشتیبان مکمل زیردریایی است، نبودش چرخه ایمنی را ناقص می‌کند.»
بهبود مهندسی داخلی	باتری لیتیومی ایمن، خنک‌کاری دیزل، بازطراحی تابلوها	کاهش ریسک انفجار	«باتری‌های قدیمی مستعد انفجارند؛ باید به لیتیوم ایمن تغییر کنند.»
تجهیزات اطفای حریق	سامانه CO ₂ ، Novec، خاموش‌کننده دستی	کنترل بحران	«در فضای بسته، آتش‌سوزی کمتر از ۲ دقیقه فرصت واکنش می‌دهد.»

یافته‌های کمی

میانگین کلی شاخص‌های تجهیزاتی ۴. ۵۱ (از ۵) بود که نشان‌دهنده توافق بالای پاسخ‌دهندگان (۸۵ نفر) است که شاخص‌های کلیدی تجهیزات در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول (۴) شاخص‌های کلیدی تجهیزات (بعد کمی)

تحلیل	درصد خیلی زیاد	میانگین	شاخص
ایمنی انرژی و کاهش ریسک انفجار	٪ ۷۷/۶۵	۴/۵۶	استفاده از باتری‌های لیتیومی ایمن
کنترل بهتر تعادل زیردریایی	٪ ۷۵/۲۹	۴/۵۶	نصب سنسور سطح مخازن بالاست
تسهیل موقعیت‌یابی و نجات	٪ ۷۴/۱۲	۴/۵۶	تجهیز به سامانه موقعیت‌یاب زیرآبی
پیشگیری از غرق‌شدگی	٪ ۷۰/۵۹	۴/۴۷	سامانه هشدار نفوذ آب
افزایش قابلیت امداد	٪ ۷۷/۶۵	۴/۴۹	وجود شناور پشتیبانی و نجات
تکمیل چرخه ایمنی	٪ ۷۵/۲۹	۴/۵۸	تجهیزات بندری (داک، آتش‌خوار)
اطفای سریع آتش‌سوزی	٪ ۶۸/۲۴	۴/۴۴	سیستم‌های اطفای ثابت



شکل (۲) مقایسه میانگین اهمیت شاخص‌های مؤثر بر ارتقای ایمنی زیردریایی‌های کلاس غدیر

برای اولویت‌بندی شاخص‌ها، آزمون فریدمن اجرا شد. نتایج نشان داد تفاوت معناداری بین رتبه میانگین شاخص‌ها وجود ندارد.

$$(\chi^2 = 35.11 / df = 6 / p = 0.079 > 0.05)$$

این یافته بیانگر اهمیت نسبتاً یکسان همه شاخص‌ها در نظر پاسخ‌دهندگان است و ضرورت توسعه همه‌جانبه تجهیزات را تأیید می‌کند.

برای آزمون فرضیه پژوهش («توسعه و بهینه‌سازی تجهیزات نجات و کنترل صدمات در ارتقای ایمنی زیردریایی‌های کلاس غدیر مؤثر است»)، آزمون کای‌دو تک‌نمونه‌ای اجرا شد. نتایج تأیید کرد فرضیه معنادار است.

$$(\chi^2 = 14.135 / df = 4 / p < 0.01, \text{ضریب توافقی} = 0.78 - \text{توافق شدید})$$

ادغام یافته‌های آمیخته یافته‌های کیفی (تأکید خبرگان بر تجهیزات بندری، باتری ایمن، حسگر نفوذ آب و اطفای حریق) با نتایج کمی (میانگین‌های بالای ۴۴.۴ و درصد "خیلی زیاد" بالای ۶۸٪ برای همه شاخص‌ها) و آزمون‌های استنباطی همخوانی کامل داشت. عدم تفاوت معنادار در آزمون فریدمن نشان می‌دهد همه مؤلفه‌های تجهیزاتی (داخلی و بیرونی) به‌طور یکسان حیاتی هستند. این ادغام تأیید می‌کند که ارتقای ایمنی زیردریایی‌های کلاس غدیر نیازمند رویکرد جامع به توسعه تجهیزات داخلی (باتری، حسگر، اطفای حریق) و بیرونی (تجهیزات بندری و شناورهای امدادی) است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج پژوهش نشان داد که توسعه و بهینه‌سازی تجهیزات نجات و کنترل صدمات تأثیر مثبت و معناداری بر ارتقای ایمنی زیردریایی‌های کلاس غدیر دارد. یافته‌های کیفی بر ضرورت نگاه جامع به تجهیزات داخلی (باتری‌های لیتیومی ایمن، سامانه‌های اطفای حریق پیشرفته مانند نووک ۱۲۳۰ و آبروسل، حسگرهای نفوذ آب و گازهای سمی (و بیرونی) تجهیزات بندری شامل داک و آتش‌خوار، شناورهای پشتیبانی نجات و سامانه‌های موقعیت‌یاب زیرآبی) تأکید داشت. یافته‌های کمی نیز این اهمیت را تأیید کرد؛ میانگین کلیه شاخص‌ها بالای ۴۴/۴ (از ۵)

و درصد "خیلی زیاد" بالای ۶۸٪ بود. آزمون فریدمن عدم تفاوت معنادار بین شاخص‌ها را نشان داد که بیانگر ضرورت توسعه همه‌جانبه تجهیزات است، در حالی که آزمون کای دو فرضیه پژوهش را با توافق شدید (۷۸/۰) تأیید نمود. ادغام یافته‌های آمیخته آشکار ساخت که بالاترین اولویت‌ها متعلق به تجهیزات بندری، باتری‌های ایمن و حسگرهای سطح مخازن بالاست است. این نتایج با چالش‌های عملیاتی کلاس غدیر (فضای محدود، شوری بالا و ریسک آتش‌سوزی/نفوذ آب) همخوانی دارد و تأکید می‌کند که ایمنی این زیردریایی‌ها نه تنها به تجهیزات داخلی، بلکه به زیرساخت‌های پشتیبانی ساحلی وابسته است.

پیشنهادهای کاربردی

۱. اولویت‌بندی تأمین تجهیزات بندری (داک واکنش سریع و شناورهای آتش‌خوار) و باتری‌های لیتیومی ایمن در برنامه‌های نوسازی ناوگان
۲. بومی‌سازی سامانه‌های اطفای حریق پیشرفته (نووک ۱۲۳۰ و آبروسل) و حسگرهای چندلایه مقاوم به خوردگی
۳. تقویت همکاری بین‌المللی برای دسترسی به فناوری‌های نجات مدرن و موقعیت‌یابی زیرآب
۴. تدوین دستورالعمل جامع برای ادغام تجهیزات داخلی و بیرونی در رزمایش‌های ایمنی

پیشنهادهای پژوهشی

۱. پژوهشی در خصوص ارزیابی اقتصادی-فنی بومی‌سازی تجهیزات اطفای حریق و حسگرهای هشدار در کلاس غدیر
۲. پژوهشی مقایسه‌ای ایمنی تجهیزات زیردریایی‌های غدیر با کلاس‌های مشابه خارجی
۳. پژوهشی در خصوص تأثیر ساختار سازمانی و پشتیبانی بندری بر کارایی تجهیزات ایمنی زیردریایی‌های کوچک

قدردانی

از کلیه اندیشمندان و پژوهشگرانی که در خلال تحقیق، خالصانه دیدگاه‌ها و نقطه نظرات علمی و کارشناسی خود را ارائه نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- ابراهیمی، مهدی. (۱۴۰۳). مدیریت عملکرد یگان‌های شناور سطحی نیروی دریایی ارتش جمهوری اسلامی ایران در عملیات کنترل صدمات، پایان‌نامه کارشناسی / ارشد، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا (دافوس).
- استاندارد / ایمنی در دریا - الزامات. (۱۳۸۷). مرکز استاندارد دفاعی ایران.
- استاندارد آتش‌نشانی - خاموش‌کننده‌های دستی: ساختار و عملکرد. (بی‌تا). مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.
- اصغری شلمانی، حمید. (۱۴۰۲). ارتقای تجهیزات و تأثیر آن بر بهبود عملکرد زیردریایی‌های نیمه‌سنگین کلاس فاتح نیروی دریایی ارتش جمهوری اسلامی ایران، پایان‌نامه کارشناسی / ارشد. دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا.
- جهانبخش، محمدی، و خزایی، م. (۱۴۰۲). بهبود ایمنی یگان‌های غواصی با بهره‌گیری از تجهیزات تخصصی. مجله طب دریا، ۱۶(۱): ۱۱-۲۰.
- ساختار عمومی زیردریایی غدیر. (۱۴۰۰). مرکز آموزش زیرسطحی نیروی دریایی ارتش جمهوری اسلامی ایران، بندرعباس.
- سازمان ملی استاندارد ایران. (۱۴۰۲). الزامات شناورهای آتش‌خوار. تهران: سازمان ملی استاندارد ایران.
- طحانی، غلامرضا. (۱۴۰۰). تجهیزات و فناوری در عملیات دریایی. تهران: انتشارات دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا.
- کدخدا، عبدالرضا. (۱۴۰۰). عملیات اطفاء حریق شناورهای دریایی و روش‌های اطفاء آن. بندرعباس: سازمان بنادر و دریانوردی هرمزگان.
- کنوانسیون بین‌المللی استانداردهای آموزش، گواهینامه و نگهبانی دریانوردی (STCW). (بی‌تا). سازمان بین‌المللی دریانوردی (IMO).
- مولایی، جمشید. (۱۳۹۸). عوامل تجهیزاتی مؤثر در بروز سوانح یگان‌های زیرسطحی نیروی دریایی ارتش جمهوری اسلامی ایران طی ده سال گذشته، پایان‌نامه کارشناسی / ارشد، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا.
- یگانه، احمدعلی. (۱۴۰۱). بررسی اثربخشی پیشرفت تجهیزات و اطفاء حریق بر احساس امنیت روانی. فصلنامه رویکردهای پژوهشی نوین در مدیریت و حسابداری، ۸۶(۱): ۲۲-۳۴.

- Army Recognition. (2025, April 24). UK's JFD completes historic submarine rescue system integration for South Korean Navy. <https://www.armyrecognition.com/news/navy-news/2025/uks-jfd-completes-historic-submarine-rescue-system-integration-for-republic-of-korea-navy>
- Aydin, B. , Selvi, E. , Tao, J. , & Starek, M. J. (2019). Use of fire-extinguishing balls for a conceptual system of drone-assisted wildfire fighting. *Drones*, 3(1), Article 17. <https://doi.org/10.3390/drones3010017>
- Ba Hashwan, S. S. , Khir, M. H. M. , Naw, I. M. , Ahmad, M. R. , Hanif, A. , Zaharuddin, M. F. A. , & Azam, M. A. (2023). A system for monitoring gas leakage using IoT and fog computing. *Electronics*, 12(5), Article 1047. <https://doi.org/10.3390/electronics12051047>
- Cho, S. H. , Suh, J. M. , Eom, T. H. , Kim, T. , & Jang, H. W. (2021). Colorimetric sensors for toxic and hazardous gas detection: A review. *Electronic Materials Letters*, 17(3), 225–240. <https://doi.org/10.1007/s13391-020-00254-9>
- Depetro, A. , Gamble, G. , & Moinuddin, K. A. M. (2021). Fire safety risk analysis of conventional submarines. *Applied Sciences*, 11(12), Article 5662. <https://doi.org/10.3390/app11125662>
- Fan, R. , Wang, Z. , Guo, W. , & Li, Y. (2022). Experimental and theoretical study on the suppression effect of CF₃CH₂CF₃ (FM-200) on hydrogen–air explosion. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(26), 12985–12996. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.02.087>
- Grey Dynamics. (2023). Iranian naval capabilities in the Strait of Hormuz: A geospatial analysis. <https://greydynamics.com/iranian-naval-capabilities-in-the-strait-of-hormuz-a-geospatial-analysis/>
- International Maritime Organization. (2017). *International Code for Fire Safety Systems (FSS Code)*. <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/Fire-Safety-Systems.aspx>
- International Maritime Organization. (2019). *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974 (as amended)*. [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\)-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS)-1974.aspx)
- International Maritime Organization. (2023). *Amendments to IMO instruments: Upcoming and recent entry into force/effective dates*. <https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/Amendments-to-IMO-instruments.aspx>
- Naval News. (2019, February 19). Islamic Republic of Iran Navy commissions 600-tons Fateh submarine. <https://www.navalnews.com>

com/naval-news/2019/02/islamic-republic-of-iran-navy-commissions-600-tons-fateh-submarine

- OceanWorks International. (n. d.). *Submarine rescue systems*. Retrieved January 31, 2026, from <https://oceanworks.com/our-business/military/submarine-rescue-systems>
- Pereira, J. A. , Santos, T. A. , & Guedes Soares, C. (2024). Assessment of submarine rescue operations under operational constraints. *Ocean Engineering*, 297, Article 117128. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.117128>
- Rohilla, M. , Saxena, A. , & Tyagi, Y. K. (2022). Condensed aerosol-based fire extinguishing system covering versatile applications: A review. *Fire Technology*, 58(1), 327–357. <https://doi.org/10.1007/s10694-021-01185-0>
- U. S. Government Accountability Office. (2023). *Navy ship fires: Ongoing efforts to improve safety should be enhanced (GAO-23-105481)*. <https://www.gao.gov/products/gao-23-105481>
- U. S. Navy. (n. d.). *Damage Controlman careers*. Retrieved January 31, 2026, from <https://www.navy.com/careers-benefits/careers/first-responder/damage-controlman>
- Valmiki, S. , Chavan, M. , Jolada, S. , Ladde, M. , & Mateen, M. (2024). Fire fighting drone using fire extinguisher ball. *Journal of Scientific Research and Technology*, 12(3), 55–66. <https://www.jsrtjournal.com/index.php/JSRT/article/view/117>
- Vanity Fair. (2023). *The 'Titan' submersible disaster was years in the making, new details reveal*. <https://www.vanityfair.com/news/2023/08/titan-submersible-implosion-warnings>
- Zhu, C. G. , Wang, J. , Xie, W. X. , et al. (2015). Improving strontium nitrate-based extinguishing aerosol by magnesium powder. *Fire Technology*, 51(4), 789–798. <https://doi.org/10.1007/s10694-013-0361-6>