مجلة علوم البحار والتقنيات البيئية
المجلد (10)، العدد (2) (ديسمبر-2024)

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

DOI: https://doi.org/10.59743/jmset.v10i2.218

تطبيق نموذج التحليل المعرفي للاعتمادية والأخطاء (CREAM) لتقدير احتمالية الخطأ البشري أثناء عمليات إطفاء حريق غرفة الماكينات على متن السفن

أحمد فتحي عاشور[1، 2، *]، سامح قباري راشد[2]، و سامح فرحات السيد[2]

[1] قسم هندسة الميكانيكا البحرية، كلية الموارد البحرية، الجامعة الأسمرية الإسلامية، زليتن، ليبيا.

[2] معهد الدراسات العليا البحرية، الأكاديمية العربية للعلوم والتكنولوجيا والنقل البحري، الإسكندرية، مصر.

*البريد الإلكتروني: a.f.ashour@asmarya.edu.ly

Applying the Cognitive Analysis of Reliability and Errors (CREAM) Model to Estimate the Probability of Human Error during Engine Room Fire Suppression Operations on Ships

Ahmed F. Ashour[1, 2, *], Sameh K. Rashed[2], and Sameh F. El-Sayed[2]

[1] Department of Marine Mechanical Engineering, Faculty of Marine Resources, Alasmarya Islamic University, Zliten, Libya.

[2] Maritime Graduate Studies Institute, Arab Academy for Science, Technology and Maritime Transport, Alexandria, Egypt.

Received: 05 November 2024; Revised: 18 December 2024; Accepted: 30 December 2024

الملخص

هدفت الدراسة الحالية إلى تطبيق نموذج التحليل المعرفي للاعتمادية والأخطاء (CREAM) لتقدير احتمالية الخطأ البشري أثناء عمليات إطفاء حريق غرفة الماكينات على متن السفن، وذلك في ضوء الأهمية المتزايدة للعوامل البشرية داخل العمليات البحرية الحرجة، خاصة أثناء الاستجابة للطوارئ المرتبطة بحرائق غرفة الماكينات. واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، حيث تم تحليل إجراءات إطفاء الحريق إلى مجموعة من المهام الرئيسية والفرعية باستخدام أسلوب تحليل المهام الهرمي (HTA)، ثم تقييم شروط الأداء المشتركة (CPCs) المؤثرة على أداء الطاقم أثناء تنفيذ إجراءات الإطفاء. كما تم تطبيق النموذج الأساسي والممتد لنموذج CREAM بهدف تحديد أوضاع التحكم المعرفي وتقدير احتمالية الخطأ البشري (HEP) للخطوات التشغيلية المختلفة أثناء الاستجابة للحريق. وأظهرت النتائج وجود تفاوت واضح في مستويات احتمالية الخطأ البشري بين مراحل الاستجابة المختلفة، حيث ارتفعت احتمالية الخطأ بصورة أكبر في المهام المرتبطة بعزل منطقة الحريق، وغلق أنظمة التهوية، والتنسيق بين أفراد الطاقم، وتنفيذ عمليات مكافحة الحريق تحت ضغط الوقت والظروف التشغيلية المعقدة. وأوضحت النتائج أن جودة الاتصال، ومستوى التدريب، وتوافر الموارد والمعدات، تمثل عوامل مؤثرة بصورة مباشرة على كفاءة الأداء البشري أثناء الطوارئ. وأكدت الدراسة أن نموذج CREAM يوفر إطارًا فعالًا لتحليل العلاقة بين الأداء البشري والسياق التشغيلي داخل البيئات البحرية عالية الخطورة، كما يساعد على تحديد المهام الأكثر عرضة للخطأ البشري، بما يدعم تطوير برامج التدريب وتحسين إجراءات السلامة والاستجابة للطوارئ على متن السفن.

الكلمات الدالة: CREAM، الخطأ البشري، اعتمادية الأداء البشري، حرائق غرفة الماكينات، السلامة البحرية، الاستجابة للطوارئ، HEP.

Abstract

The present study aimed to apply the Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM) to estimate human error probability during ship engine room firefighting operations. The study was conducted in light of the increasing importance of human factors in critical maritime operations, particularly during emergency response to engine room fires. A descriptive analytical approach was adopted, in which firefighting procedures were

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

decomposed into main and sub-tasks using Hierarchical Task Analysis (HTA), followed by evaluating the Common Performance Conditions (CPCs) affecting crew performance during firefighting operations. Both the Basic and Extended CREAM models were applied to identify cognitive control modes and estimate Human Error Probability (HEP) for different operational tasks during fire response procedures. The findings revealed significant variation in human error probability across the different stages of emergency response. Higher error probabilities were associated with tasks related to isolating the fire area, shutting down ventilation systems, crew coordination, and performing firefighting operations under time pressure and complex operational conditions. The results also demonstrated that communication quality, training level, and the availability of resources and equipment directly influence human performance efficiency during emergencies. Furthermore, the study confirmed that the CREAM model provides an effective framework for analyzing the relationship between human performance and operational context within high-risk maritime environments. It also assists in identifying the most error-prone tasks, thereby supporting the improvement of training programs and enhancing maritime safety and emergency response procedures onboard ships.

Keywords: *CREAM, Human Error, Human Reliability Assessment, Engine Room Fire, Maritime Safety, Emergency Response, HEP.*

1. المقدمة

يمثل النقل البحري أحد أهم ركائز التجارة الدولية وسلاسل الإمداد العالمية، حيث يعتمد عليه الجزء الأكبر من حركة التجارة العالمية في نقل البضائع والطاقة والمواد الخام بين الدول. ومع التطور المستمر في أحجام السفن وتعقيد الأنظمة التشغيلية على متنها، أصبحت السلامة البحرية قضية ذات أهمية متزايدة، خاصة في ظل ما قد تسببه الحوادث البحرية من خسائر بشرية واقتصادية وبيئية جسيمة. وعلى الرغم من التطور التكنولوجي الكبير في أنظمة الملاحة والتحكم والمراقبة، فإن الحوادث البحرية لا تزال تمثل تحديًا رئيسيًا أمام قطاع النقل البحري، إذ تشير العديد من التقارير والدراسات إلى أن نسبة كبيرة من هذه الحوادث ترتبط بصورة مباشرة أو غير مباشرة بالعوامل البشرية والأخطاء التشغيلية (Rothblum *et al*., 2002; EMSA, 2024).

وتُعد حرائق غرفة الماكينات من أخطر الحوادث التي قد تتعرض لها السفن أثناء التشغيل؛ نظرًا لما تتسم به غرفة الماكينات من بيئة تشغيلية معقدة تضم أنظمة الوقود والتزييت والطاقة والمعدات الحرارية والكهربائية في مساحة محدودة ومتشابكة. كما أن سرعة انتشار الحريق داخل غرفة الماكينات قد تؤدي إلى تصاعد الموقف بصورة يصعب السيطرة عليها في وقت قصير، بما قد يهدد سلامة السفينة والطاقم والبيئة البحرية المحيطة. وقد أوضحت العديد من الدراسات أن حرائق غرفة الماكينات ترتبط غالبًا بعوامل فنية وتشغيلية وبشرية متداخلة، مثل تسرب الوقود والزيوت، والأعطال الميكانيكية، وضعف الصيانة، والقصور في الاستجابة للطوارئ، فضلًا عن الأخطاء البشرية أثناء تنفيذ إجراءات مكافحة الحريق والسيطرة عليه (Sarıalioğlu *et al*., 2020; Zhang *et al*., 2022; Ma *et al*., 2024).

كما، يكتسب العنصر البشري أهمية خاصة باعتباره أحد المكونات الرئيسية في منظومة السلامة البحرية، حيث تعتمد فعالية الاستجابة للطوارئ بدرجة كبيرة على قدرة الطاقم على اتخاذ القرار السليم، وتنفيذ الإجراءات المطلوبة بسرعة ودقة، والتنسيق الفعال أثناء المواقف الحرجة. إلا أن ظروف العمل على متن السفن، مثل ضغط الوقت، والإجهاد، وتعقيد الإجراءات، وكثافة المعلومات، قد تؤثر بصورة مباشرة على الأداء البشري واحتمالية وقوع الخطأ. ومن ثم، لم يعد الاهتمام مقتصرًا على تحليل الحوادث بعد وقوعها، بل اتجهت الدراسات الحديثة إلى تطوير أدوات استباقية تهدف إلى تقدير احتمالية الخطأ البشري وتحديد المهام الأكثر عرضة للفشل قبل وقوع الحادث، بما يسهم في تحسين إجراءات السلامة وتقليل المخاطر التشغيلية (Berg, 2013).

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

ومن بين الأدوات الحديثة التي حظيت باهتمام متزايد في مجال تقييم اعتمادية الأداء البشري Human Reliability Assessment (HRA)، يبرز نموذج التحليل المعرفي للاعتمادية والأخطاء CREAM بوصفه أحد نماذج الجيل الثاني لتحليل الاعتمادية البشرية، حيث يركز على العلاقة بين الأداء البشري والسياق التشغيلي المحيط به، من خلال تحليل شروط الأداء المشتركة Common Performance Conditions (CPCs)، وتحديد أوضاع التحكم المعرفي، وتقدير احتمالية الخطأ البشري في المهام التشغيلية المختلفة (Hollnagel, 1998; Rashed, 2016). وقد أثبت النموذج ملاءمته لتحليل العمليات المعقدة وعالية الخطورة، وتم توظيفه في العديد من التطبيقات البحرية المرتبطة بالسلامة والاستجابة للطوارئ والعمليات التشغيلية الحرجة على متن السفن (Ahn & Kurt, 2020; Lee *et al*., 2024).

بالرغم من تعدد الدراسات التي تناولت حرائق غرفة الماكينات من منظور تحليل المخاطر أو الأسباب الفنية والبشرية، وكذلك الدراسات التي استخدمت نماذج HRA وCREAM في بعض العمليات البحرية، فإن الحاجة ما تزال قائمة إلى دراسات تطبيقية تركز بصورة مباشرة على تقدير احتمالية الخطأ البشري أثناء تنفيذ إجراءات إطفاء حريق غرفة الماكينات نفسها، وتحليل الخطوات التشغيلية الأكثر عرضة للفشل البشري خلال الاستجابة للطوارئ. ومن هنا تأتي أهمية الدراسة الحالية، التي تسعى إلى تطبيق نموذج CREAM لتقدير احتمالية الخطأ البشري أثناء عمليات إطفاء حريق غرفة الماكينات على متن السفن، من خلال تحليل إجراءات الإطفاء إلى خطوات رئيسة وفرعية، وتقييم شروط الأداء المشتركة المؤثرة في أداء الطاقم، وتحديد المهام ذات الخطورة الأعلى، بما يسهم في دعم إجراءات السلامة البحرية ورفع كفاءة الاستجابة للطوارئ.

1.1. مشكلة الدراسة

تمثل حرائق غرفة الماكينات واحدة من أكثر الحوادث خطورة على متن السفن، لما قد ينتج عنها من تهديد مباشر لسلامة الطاقم والسفينة والبيئة البحرية، خاصة مع الطبيعة المعقدة لغرفة الماكينات وما تحتويه من أنظمة وقود وطاقة ومعدات حرارية وكهربائية تعمل بصورة متداخلة. كما أن التعامل مع الحريق داخل هذا الجزء من السفينة يحتاج إلى استجابة سريعة ودقيقة من الطاقم، لأن أي تأخير أو خطأ أثناء تنفيذ إجراءات الإطفاء قد يؤدي إلى تصاعد الحادث وفقدان السيطرة عليه. ورغم التطور المستمر في أنظمة السلامة ومعدات مكافحة الحريق، فإن العديد من الحوادث البحرية ما زالت ترتبط بالأخطاء البشرية أثناء الاستجابة للطوارئ، مثل ضعف الاتصال، أو بطء اتخاذ القرار، أو عدم تنفيذ الإجراءات بالشكل الصحيح، أو الضغط الناتج عن الموقف الطارئ. كما أن أغلب الدراسات السابقة ركزت على الأسباب الفنية لحرائق غرفة الماكينات أو تحليل الحوادث بعد وقوعها، بينما ظل الاهتمام محدودًا بتقدير احتمالية الخطأ البشري أثناء تنفيذ خطوات الإطفاء نفسها، وتحديد أي المهام أكثر عرضة للفشل أثناء الموقف الطارئ.

من هنا ظهرت الحاجة إلى استخدام نموذج التحليل المعرفي للاعتمادية والأخطاء (CREAM) لتحليل إجراءات إطفاء حريق غرفة الماكينات، وتقدير احتمالية الخطأ البشري في الخطوات المختلفة، بما يساعد على تحديد المهام الأكثر خطورة، ودعم برامج التدريب والسلامة البحرية، وتحسين كفاءة الاستجابة للطوارئ على متن السفن.

2.1. أهداف الدراسة

تهدف الدراسة إلى تطبيق نموذج التحليل المعرفي للاعتمادية والأخطاء (CREAM) لتقدير احتمالية الخطأ البشري أثناء عمليات إطفاء حريق غرفة الماكينات على متن السفن، وذلك من خلال تحقيق الأهداف الآتية:

- توضيح دور الخطأ البشري في العمليات البحرية الحرجة المرتبطة بمكافحة حرائق غرفة الماكينات.

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

- عرض نموذج CREAM وبيان مدى ملاءمته لتقييم اعتمادية الأداء البشري في العمليات البحرية عالية الخطورة.
- تحليل إجراءات إطفاء حريق غرفة الماكينات إلى مجموعة من الخطوات والمهام الرئيسية والفرعية.
- تقييم شروط الأداء المشتركة (CPCs) المؤثرة في أداء الطاقم أثناء الاستجابة لحريق غرفة الماكينات.
- تحديد أوضاع التحكم المعرفي المرتبطة بالمهام المختلفة أثناء تنفيذ إجراءات الإطفاء.
- تقدير احتمالية الخطأ البشري (HEP) للخطوات الرئيسية والفرعية باستخدام النموذج الأساسي والممتد لـ CREAM.
- تحديد المهام والخطوات الأكثر عرضة للخطأ البشري أثناء عمليات إطفاء حريق غرفة الماكينات.
- تقديم مجموعة من التوصيات التي تسهم في تحسين إجراءات السلامة البحرية ورفع كفاءة التدريب والاستجابة للطوارئ على متن السفن.

3.1. أهمية الدراسة

تنبع أهمية الدراسة من أهمية السلامة البحرية والعمليات الحرجة التي تُنفذ على متن السفن، خاصة عمليات الاستجابة لحرائق غرفة الماكينات، والتي تتطلب سرعة في اتخاذ القرار ودقة في تنفيذ الإجراءات تحت ظروف تشغيلية وضغط مرتفع. كما أن أي خطأ بشري أثناء التعامل مع هذا النوع من الحوادث قد يؤدي إلى تصاعد الخطر وتهديد سلامة الطاقم والسفينة والبيئة البحرية.

تظهر الأهمية العلمية للدراسة في توظيف نموذج التحليل المعرفي للاعتمادية والأخطاء (CREAM) داخل مجال السلامة البحرية، من خلال تطبيقه على عملية تشغيلية حرجة ترتبط بإجراءات إطفاء حريق غرفة الماكينات، بما يسهم في دعم الدراسات المرتبطة بتقييم اعتمادية الأداء البشري Human Reliability Assessment (HRA) في المجال البحري، وإبراز أهمية الانتقال من تحليل الحوادث بعد وقوعها إلى التنبؤ بالخطوات الأكثر عرضة للخطأ البشري قبل حدوث الحادث.

أما الأهمية التطبيقية، فتتمثل في مساعدة شركات الملاحة وإدارات السلامة البحرية ومراكز التدريب البحري على تحديد المهام التي تحتاج إلى رفع مستوى التدريب أو تحسين إجراءات التشغيل والسلامة المرتبطة بها، بالإضافة إلى دعم تطوير خطط الاستجابة للطوارئ داخل غرفة الماكينات، وتقليل احتمالية الخطأ البشري أثناء تنفيذ إجراءات مكافحة الحريق، بما ينعكس على رفع مستوى السلامة التشغيلية على متن السفن.

4.1. مراجعة الدراسات السابقة

تفرض طبيعة العمل البحري بيئة تشغيلية شديدة التعقيد، حيث تعمل السفن من خلال منظومة مترابطة تضم العنصر البشري والأنظمة التقنية والإجراءات التشغيلية في وقت واحد. ومع زيادة الاعتماد على الأنظمة الميكانيكية والكهربائية الحديثة داخل السفن، أصبحت إدارة المخاطر والسلامة البحرية أكثر حساسية، خاصة أثناء المواقف الطارئة التي تتطلب سرعة استجابة ودقة في اتخاذ القرار. ورغم التطور المستمر في تقنيات الملاحة والمراقبة وأنظمة السلامة، فإن الحوادث البحرية ما تزال تمثل أحد التحديات الرئيسية في قطاع النقل البحري، ويرتبط جزء كبير منها بالأخطاء البشرية أو القصور في تنفيذ الإجراءات التشغيلية أثناء المواقف الحرجة (Rothblum *et al*., 2002; EMSA, 2024).

ومن بين الحوادث الأكثر خطورة على متن السفن، تبرز حرائق غرفة الماكينات بوصفها من الحوادث التي يصعب السيطرة عليها إذا لم تتم الاستجابة لها بصورة سريعة وفعالة. ويرجع ذلك إلى طبيعة غرفة الماكينات نفسها، باعتبارها بيئة تشغيلية مغلقة تضم أنظمة الوقود والتزييت والطاقة والمعدات الحرارية والكهربائية، وهو ما يجعل أي خلل أو تسرب أو تأخير في التعامل مع الحريق قابلًا للتطور بصورة سريعة. كما أن خطورة هذا النوع من الحوادث لا ترتبط فقط بحدوث الاشتعال، بل بقدرة الحريق على الانتشار

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

والتأثير على أنظمة الدفع والطاقة داخل السفينة، بما قد يؤدي إلى فقدان السيطرة على السفينة أو تعريض الطاقم والبيئة البحرية لخطر كبير. ومن هنا، أوضح Sarıalioğlu *et al.* (2020) أن حرائق غرفة الماكينات لا يمكن تفسيرها من خلال الأعطال الفنية فقط، لأن العوامل البشرية والتنظيمية تمثل جزءًا أساسيًا من تطور الحادث. وقد استخدمت الدراسة نموذجًا هجينًا يجمع بين HFACS وFuzzy Fault Tree Analysis لتحليل العوامل البشرية المؤثرة في حرائق وانفجارات غرف الماكينات، وأظهرت النتائج أن ضعف التواصل، وعدم كفاءة اتخاذ القرار، والقصور في تنفيذ الإجراءات التشغيلية من بين العوامل المؤثرة في تصاعد الحوادث البحرية المرتبطة بالحريق. وتعكس هذه النتائج اتجاهًا واضحًا داخل الأدبيات البحرية نحو تحليل الحوادث باعتبارها ناتجة عن تفاعل بين الإنسان والنظام والبيئة التشغيلية، وليس نتيجة عطل فني منفصل.

كما تناول Zhang *et al.* (2022) حرائق غرفة الماكينات من منظور ديناميكي، حيث ركزت الدراسة على تأثير الدومينو الناتج عن الحريق داخل البيئات التشغيلية المغلقة. وأوضحت النتائج أن خطورة الحريق ترتفع بصورة كبيرة عندما تتأثر الأنظمة المجاورة داخل غرفة الماكينات، خاصة أنظمة الوقود والطاقة، وهو ما يؤدي إلى تعقيد عملية الاستجابة للطوارئ. كذلك أظهرت دراسة Li *et al.* (2022) أن التأثيرات الناتجة عن حريق غرفة الماكينات قد تمتد إلى أنظمة الدفع والطاقة الكهربائية، بما يضاعف من مستوى الخطورة التشغيلية على السفينة. وتشير هذه الدراسات مجتمعة إلى أن السيطرة على هذا النوع من الحوادث لا تعتمد فقط على كفاءة أنظمة الإطفاء، وإنما تتطلب كذلك أداءً بشريًا عالي الكفاءة أثناء تنفيذ إجراءات الاستجابة للطوارئ.

ويرتبط ذلك مباشرة بالاهتمام المتزايد بالعوامل البشرية داخل قطاع السلامة البحرية، خاصة مع تكرار الحوادث التي أظهرت أن فشل الاستجابة أو التأخر في اتخاذ القرار قد يكون أكثر تأثيرًا من الخلل الفني نفسه. كما أشار Berg (2013) إلى أن فعالية الاستجابة للحوادث البحرية تعتمد بصورة كبيرة على مستوى التدريب وثقافة السلامة والتنسيق بين أفراد الطاقم أثناء المواقف الحرجة.

انطلاقًا من ذلك، اتجهت العديد من الدراسات إلى استخدام أدوات تقييم اعتمادية الأداء البشري Human Reliability Assessment (HRA) بهدف تقدير احتمالية الخطأ البشري داخل العمليات البحرية الحرجة بدلًا من الاكتفاء بتحليل الحوادث بعد وقوعها. ويعتمد هذا الاتجاه على تحليل العلاقة بين الإنسان والبيئة التشغيلية المحيطة، وتحديد الظروف التي تجعل بعض المهام أكثر عرضة للفشل البشري أثناء التنفيذ. وفي هذا الإطار، استخدم Akyuz *et al.* (2018) نموذج SOHRA لتحليل احتمالية الخطأ البشري أثناء عمليات تزويد السفن بالوقود، وأظهرت النتائج أن ضغط الوقت وتعقيد الإجراءات التشغيلية يزيدان من احتمالية الخطأ في بعض المهام الحرجة. كما طبق Ahn *et al.* (2022) نموذج SPAR-H أثناء تدريبات الاستجابة لحالات سقوط الأشخاص في البحر، وأكدت الدراسة أن جاهزية الطاقم ومستوى الاتصال والتنسيق تؤثر بصورة مباشرة على فعالية الاستجابة للطوارئ.

ومع تعدد أدوات HRA، برز نموذج التحليل المعرفي للاعتمادية والأخطاء CREAM باعتباره أحد أكثر النماذج قدرة على تحليل العمليات المعقدة التي تتداخل فيها العوامل البشرية والتنظيمية والفنية. ويختلف هذا النموذج عن بعض النماذج التقليدية في أنه لا ينظر إلى الخطأ البشري باعتباره فعلًا منفصلًا، بل باعتباره نتيجة لتأثير مجموعة من الظروف التشغيلية والمعرفية المحيطة بالأداء البشري. وقد قدم Hollnagel (1998) النموذج في إطار يعتمد على تحليل شروط الأداء المشتركة Common Performance Conditions (CPCs)، مثل ضغط الوقت، وتوافر الموارد، وجودة الاتصال، وكفاءة التدريب، وتعقيد المهمة التشغيلية، ثم ربط هذه الظروف بأوضاع التحكم المعرفي واحتمالية وقوع الخطأ البشري أثناء تنفيذ المهام الحرجة.

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

وفي المجال البحري، أوضح Rashed (2016) أن نموذج CREAM يتمتع بملاءمة كبيرة للعمليات الحرجة على متن السفن، نظرًا لقدرته على تحليل البيئات التشغيلية التي تتسم بالتعقيد والتغير المستمر. كما أشار إلى أن النموذج يمكن استخدامه بصورة استباقية لتحديد المهام الأكثر عرضة للخطأ البشري قبل وقوع الحادث، وهو ما يجعله أداة مناسبة لدعم السلامة البحرية وإجراءات الطوارئ. وفي السياق نفسه، استخدم Ahn & Kurt (2020) إطارًا قائمًا على CREAM لتحليل الاعتمادية البشرية أثناء الاستجابة الطارئة لحرائق غرفة الماكينات، حيث اعتمدت الدراسة على تقييم شروط الأداء المشتركة المرتبطة بعمليات الإطفاء، وأظهرت النتائج أن بعض خطوات الاستجابة ترتفع فيها احتمالية الخطأ البشري نتيجة الضغط الزمني وتعقيد الإجراءات وضعف التواصل أثناء الطوارئ.

كما اتجهت الدراسات الحديثة إلى تطوير نموذج CREAM ودمجه مع نماذج كمية واحتمالية بهدف رفع دقة تقدير الخطأ البشري داخل البيئات المعقدة. فقد استخدم Aydin *et al.* (2024) نموذجًا يجمع بين الشبكات البايزية الضبابية وCREAM لتقييم موثوقية الأداء البشري أثناء تشغيل مضخة الحريق الطارئة على ناقلات النفط، وأظهرت النتائج أن دمج النماذج الاحتمالية مع CREAM يساعد على تحسين فهم العلاقات بين الظروف التشغيلية والأداء البشري أثناء الطوارئ. كذلك أوضح Xu et al. (2024) أن تطوير آليات تقييم الخبراء داخل CREAM يساعد على تقليل عدم اليقين المرتبط بتقدير شروط الأداء المشتركة، في حين ركز Shi *et al.* (2023) على تحسين النموذج باستخدام أساليب هجينة لاتخاذ القرار بهدف رفع دقة تقدير احتمالية الخطأ البشري.

ورغم التطور الواضح في الدراسات المرتبطة بحرائق غرفة الماكينات والعوامل البشرية ونماذج HRA وCREAM، فإن جانبًا مهمًا ما يزال بحاجة إلى مزيد من الدراسة، ويتمثل في التحليل التفصيلي لإجراءات إطفاء حريق غرفة الماكينات نفسها، وتقدير احتمالية الخطأ البشري داخل كل خطوة تشغيلية أثناء الاستجابة للطوارئ. كما أن كثيرًا من الدراسات ركزت على تحليل أسباب الحوادث أو تقييم المخاطر بصورة عامة، دون التوسع في تحديد الخطوات الأكثر عرضة للفشل البشري أثناء تنفيذ إجراءات الإطفاء الفعلية. ومن هنا تأتي الدراسة الحالية لتطبيق نموذج CREAM على عمليات إطفاء حريق غرفة الماكينات على متن السفن، بهدف تقدير احتمالية الخطأ البشري في الخطوات الرئيسية والفرعية، وتحديد المهام الأعلى خطورة، بما يدعم تطوير التدريب البحري وتحسين إجراءات السلامة والاستجابة للطوارئ.

2. منهجية الدراسة

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي بالتطبيق على عمليات إطفاء حريق غرفة الماكينات على متن السفن، وذلك بهدف تقدير احتمالية الخطأ البشري أثناء تنفيذ إجراءات الاستجابة للطوارئ باستخدام نموذج التحليل المعرفي للاعتمادية والأخطاء (CREAM). ويستند هذا التوجه إلى طبيعة الدراسة الحالية التي تجمع بين تحليل الإجراءات التشغيلية الخاصة بمكافحة الحريق، وتقييم تأثير الظروف التشغيلية والمعرفية على أداء الطاقم أثناء المواقف الحرجة.

وفي سبيل تحقيق أهداف الدراسة، تم الاعتماد على نموذج CREAM باعتباره أحد نماذج الجيل الثاني لتحليل اعتمادية الأداء البشري Human Reliability Assessment (HRA)، نظرًا لقدرته على تحليل العلاقة بين الأداء البشري والسياق التشغيلي المحيط، من خلال تقييم شروط الأداء المشتركة Common Performance Conditions (CPCs)، وتحديد أوضاع التحكم المعرفي، ثم تقدير احتمالية الخطأ البشري Human Error Probability (HEP) أثناء تنفيذ المهام التشغيلية الحرجة.

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

كما تم اختيار عمليات إطفاء حريق غرفة الماكينات بوصفها حالة تطبيقية للدراسة، نظرًا لما تمثله من عملية تشغيلية عالية الخطورة تتطلب استجابة سريعة وتنسيقًا دقيقًا بين أفراد الطاقم أثناء الطوارئ. وتم تحليل إجراءات الإطفاء إلى مجموعة من الخطوات الرئيسية والفرعية باستخدام أسلوب تحليل المهام الهرمي Hierarchical Task Analysis (HTA)، بهدف تحديد تسلسل الإجراءات التشغيلية والمهام المرتبطة بعملية مكافحة الحريق داخل غرفة الماكينات.

واعتمدت الدراسة على جمع البيانات من خلال استقصاء آراء مجموعة من الخبراء والمتخصصين في المجال البحري، ممن لديهم خبرة عملية مرتبطة بعمليات السلامة البحرية والاستجابة للطوارئ على متن السفن. وتم تصميم استمارة تقييم بالاعتماد على متطلبات نموذج CREAM بهدف تقييم شروط الأداء المشتركة (CPCs) المرتبطة بكل خطوة من خطوات إطفاء الحريق، مثل ضغط الوقت، وجودة الاتصال، وتوافر الموارد، وكفاءة التدريب، وتعقيد المهام التشغيلية.

وبعد الانتهاء من تقييم شروط الأداء المشتركة، تم تطبيق النموذج الأساسي Basic CREAM لتحديد مؤشر تأثير السياق Context Influence Index (CII) وأوضاع التحكم المعرفي المرتبطة بالمهام المختلفة أثناء تنفيذ إجراءات الإطفاء. كما تم تطبيق النموذج الممتد Extended CREAM لتقدير احتمالية الخطأ البشري (HEP) للخطوات الرئيسية والفرعية، وتحليل المهام الأكثر عرضة للفشل البشري أثناء الاستجابة لحريق غرفة الماكينات.

وتم تحليل النتائج بهدف تحديد الخطوات التشغيلية ذات الخطورة الأعلى، ومناقشة العوامل المؤثرة في ارتفاع احتمالية الخطأ البشري أثناء تنفيذها، وصولًا إلى تقديم مجموعة من التوصيات التي يمكن أن تسهم في دعم إجراءات السلامة البحرية، وتحسين برامج التدريب والاستجابة للطوارئ على متن السفن.

1.2. إجراءات إطفاء حريق غرفة الماكينات

تعتمد فعالية الاستجابة لحرائق غرفة الماكينات على سرعة اكتشاف الحريق، وكفاءة التنسيق بين أفراد الطاقم، ودقة تنفيذ إجراءات الطوارئ وفق التسلسل التشغيلي المحدد داخل السفينة. كما أن طبيعة غرفة الماكينات، باعتبارها بيئة مغلقة تضم أنظمة الوقود والطاقة والمعدات الحرارية، تجعل أي تأخير أو خطأ أثناء تنفيذ إجراءات الإطفاء عاملًا قد يؤدي إلى تصاعد الحريق وصعوبة السيطرة عليه. لذلك تُنفذ عمليات مكافحة الحريق داخل غرفة الماكينات وفق مجموعة من الخطوات والإجراءات المنظمة التي تهدف إلى احتواء الحريق وتقليل تأثيره على السفينة والطاقم والأنظمة التشغيلية.

وتبدأ عملية الاستجابة عادة باكتشاف الحريق والإعلان عنه، سواء من خلال أنظمة الكشف الآلي أو من خلال ملاحظة أفراد الطاقم لوجود دخان أو لهب أو ارتفاع غير طبيعي في درجات الحرارة داخل غرفة الماكينات. ويُعد الاكتشاف المبكر من أكثر المراحل أهمية، لأن سرعة الإبلاغ تؤثر بصورة مباشرة على زمن الاستجابة وكفاءة السيطرة على الحريق في مراحله الأولى. بعد ذلك، يتم تفعيل حالة الطوارئ وإطلاق إنذار الحريق، ثم يتجه أفراد الطاقم إلى نقاط التجمع المحددة مسبقًا داخل السفينة، حيث يتم توزيع الأدوار والمسؤوليات الخاصة بمكافحة الحريق وعمليات الدعم والتأمين. وفي هذه المرحلة، يصبح التنسيق بين الجسر وغرفة الماكينات وفريق مكافحة الحريق عاملًا حاسمًا في تقليل احتمالية حدوث ارتباك أو تأخير أثناء تنفيذ الإجراءات.

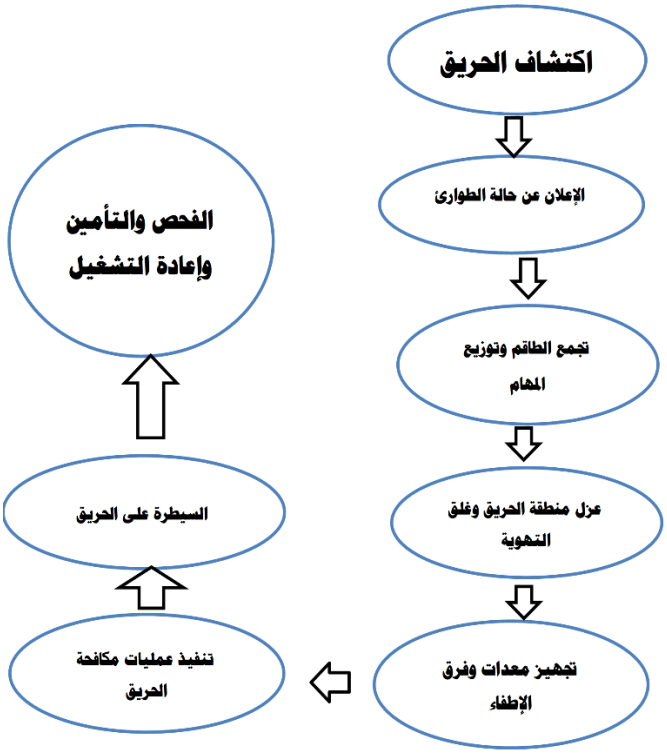
وتتضمن الإجراءات التالية عزل منطقة الحريق والتأكد من غلق فتحات التهوية والأبواب والمداخل المؤدية إلى غرفة الماكينات، بهدف تقليل انتشار الحريق والدخان ومنع وصول الأكسجين إلى منطقة الاشتعال. كما يتم التأكد من جاهزية معدات الإطفاء وأنظمة الضخ ومعدات الحماية الشخصية قبل دخول فريق مكافحة الحريق إلى المنطقة المتأثرة.

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

بعد تجهيز فرق الإطفاء، تبدأ مرحلة مكافحة الحريق باستخدام الوسائل المناسبة وفق نوع الحريق ودرجة انتشاره، سواء باستخدام أنظمة الإطفاء الثابتة مثل CO_2 أو باستخدام معدات الإطفاء المحمولة وخراطيم المياه والرغوة. وخلال هذه المرحلة، يتطلب الموقف مستوى مرتفعًا من التركيز وسرعة اتخاذ القرار، خاصة في ظل احتمالية انخفاض الرؤية وارتفاع درجات الحرارة والضغط الناتج عن الموقف الطارئ.

وعقب السيطرة على الحريق، تُنفذ مجموعة من الإجراءات اللاحقة، مثل التأكد من إخماد الحريق بالكامل، وفحص الأنظمة المتأثرة، والتأكد من عدم وجود مصادر لإعادة الاشتعال، بالإضافة إلى تقييم الأضرار وإعادة تأمين غرفة الماكينات قبل استئناف العمليات التشغيلية.

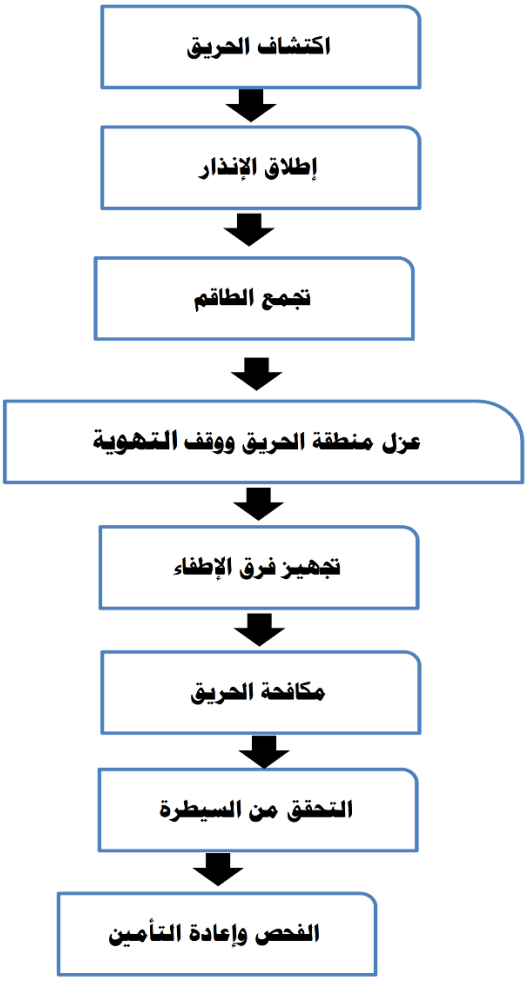
وتتلخص إجراءات إطفاء حريق غرفة الماكينات بالشكل (1) والتسلسل التشغيلي لإجراءات مكافحة حريق غرفة الماكينات بالشكل (2).



شكل 1. مراحل الاستجابة وإطفاء حريق غرفة الماكينات

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على IMO SOLAS وFSS Code (IMO, n.d.) والدراسة الحالية

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966



شكل 2. التسلسل التشغيلي لإجراءات مكافحة حريق غرفة الماكينات

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على إجراءات السلامة البحرية الخاصة بمكافحة الحرائق على متن السفن

ويمكن تلخيص الخطوات الرئيسية لإجراءات إطفاء حريق غرفة الماكينات في الجدول (1):

جدول 1. الخطوات الرئيسية لإجراءات إطفاء حريق غرفة الماكينات

م	الخطوة الرئيسية	الهدف من الإجراء
1	اكتشاف الحريق والإبلاغ عنه	تقليل زمن الاستجابة للحريق
2	إطلاق الإنذار وتفعيل الطوارئ	تنبيه الطاقم وبدء خطة الطوارئ
3	تجمع الطاقم وتوزيع المهام	تنظيم الاستجابة ومنع الارتباك
4	عزل منطقة الحريق	الحد من انتشار الحريق والدخان
5	تجهيز فرق ومعدات الإطفاء	ضمان جاهزية التدخل
6	تنفيذ عمليات الإطفاء	السيطرة على الحريق وتقليل الأضرار
7	الفحص والتأمين	منع إعادة الاشتعال واستعادة التشغيل

المصدر: إعداد الباحثين بالاعتماد على الدراسة الحالية و IMO SOLAS Chapter II-2. (IMO, n.d.)

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

2.2. تطبيق نموذج CREAM

يعتمد نموذج التحليل المعرفي للاعتمادية والأخطاء (CREAM) على تحليل العلاقة بين الأداء البشري والظروف التشغيلية المحيطة أثناء تنفيذ المهام الحرجة، من خلال دراسة تأثير مجموعة من شروط الأداء المشتركة Common Performance Conditions (CPCs) على مستوى التحكم المعرفي واحتمالية وقوع الخطأ البشري. ويُعد النموذج من أبرز نماذج الجيل الثاني لتحليل اعتمادية الأداء البشري Human Reliability Assessment (HRA)، نظرًا لقدرته على التعامل مع البيئات التشغيلية المعقدة التي تتداخل فيها العوامل البشرية والتنظيمية والفنية.

في الدراسة الحالية، تم تطبيق نموذج CREAM على إجراءات إطفاء حريق غرفة الماكينات على متن السفن، بهدف تقدير احتمالية الخطأ البشري أثناء تنفيذ خطوات الاستجابة للطوارئ، وتحديد المهام الأكثر عرضة للفشل البشري خلال عمليات مكافحة الحريق.

وقد بدأت عملية التطبيق بتحليل إجراءات إطفاء حريق غرفة الماكينات وتقسيمها إلى مجموعة من المهام الرئيسية والفرعية باستخدام أسلوب تحليل المهام الهرمي Hierarchical Task Analysis (HTA)، وذلك بهدف دراسة كل خطوة تشغيلية بصورة مستقلة، وتحليل العوامل المؤثرة على الأداء البشري أثناء تنفيذها. وشملت المهام الرئيسية: اكتشاف الحريق والإبلاغ عنه، وتفعيل حالة الطوارئ، وعزل منطقة الحريق، وتجهيز فرق الإطفاء والمعدات، وتنفيذ عمليات مكافحة الحريق، ثم الفحص والتأمين بعد السيطرة على الحريق.

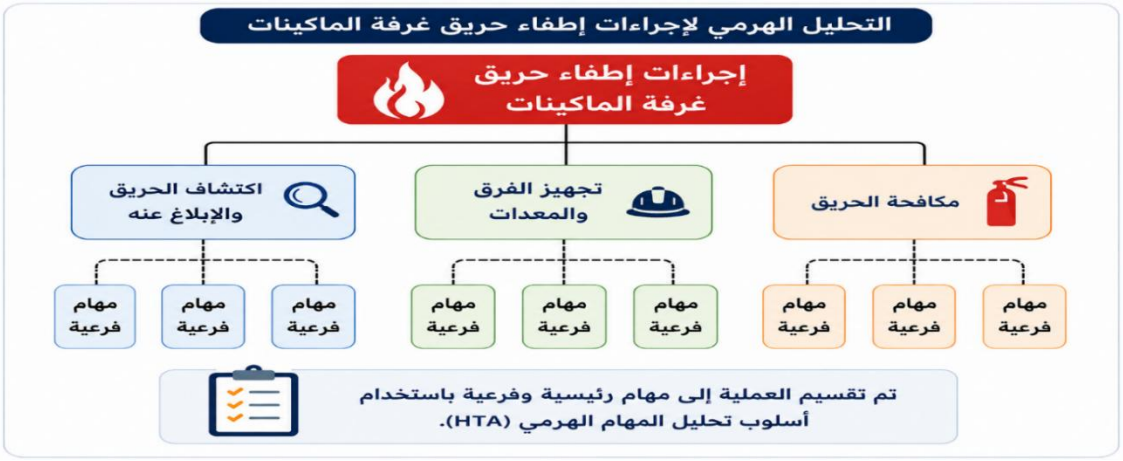
بعد ذلك، تم تقييم شروط الأداء المشتركة (CPCs) المرتبطة بكل مهمة تشغيلية، باعتبارها من العوامل الأساسية التي تؤثر على مستوى الأداء البشري أثناء المواقف الطارئة. وقد شملت هذه الشروط جودة الاتصال والتنسيق بين أفراد الطاقم، وضغط الوقت، ومستوى التدريب والخبرة، وتوافر الموارد والمعدات، وتعقيد المهام التشغيلية، وظروف العمل داخل غرفة الماكينات. وتم الاعتماد في عملية التقييم على آراء مجموعة من الخبراء والمتخصصين في المجال البحري، بهدف تحديد مدى تأثير كل شرط على كفاءة تنفيذ إجراءات الإطفاء.

وفي المرحلة التالية، تم تطبيق النموذج الأساسي Basic CREAM لتحديد مؤشر تأثير السياق Context Influence Index (CII)، والذي يعكس تأثير البيئة التشغيلية والظروف المحيطة على الأداء البشري أثناء تنفيذ المهام المختلفة. كما ساعد هذا الإجراء في تحديد أوضاع التحكم المعرفي المرتبطة بكل خطوة تشغيلية، والتي تتدرج بين الوضع الاستراتيجي، والوضع التكتيكي، والوضع الانتهازي، والوضع العشوائي، حيث تشير المستويات الأخيرة إلى ارتفاع احتمالية الخطأ البشري نتيجة الضغط والتعقيد وضعف الظروف التشغيلية.

كما تم تطبيق النموذج الممتد Extended CREAM بهدف تقدير احتمالية الخطأ البشري Human Error Probability (HEP) بصورة كمية لكل مهمة رئيسية وفرعية داخل إجراءات إطفاء الحريق. وقد ساعد هذا الإجراء في تحديد الخطوات التشغيلية الأكثر عرضة للفشل البشري أثناء الاستجابة للطوارئ، خاصة المهام المرتبطة بعزل منطقة الحريق، والتنسيق بين أفراد الطاقم، وتنفيذ إجراءات مكافحة الحريق داخل البيئة التشغيلية المعقدة لغرفة الماكينات.

ويوضح الشكل (3) مراحل تطبيق نموذج CREAM في الدراسة الحالية، بداية من تحليل المهام التشغيلية وحتى تقدير احتمالية الخطأ البشري وتحديد المهام الحرجة أثناء عمليات إطفاء حريق غرفة الماكينات

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966



شكل 3. مراحل تطبيق نموذج التحليل المعرفي للاعتمادية والأخطاء (CREAM) في الدراسة الحالية

3. النتائج

أظهرت نتائج تطبيق نموذج التحليل المعرفي للاعتمادية والأخطاء (CREAM) وجود تباين واضح في مستويات احتمالية الخطأ البشري بين المهام المختلفة المرتبطة بعمليات إطفاء حريق غرفة الماكينات، حيث تأثرت بعض الخطوات التشغيلية بصورة أكبر بظروف العمل وضغط الوقت وتعقيد الإجراءات أثناء الاستجابة للطوارئ.

وفيما يتعلق بتقييم شروط الأداء المشتركة (CPCs)، أوضحت النتائج أن جودة الاتصال والتنسيق بين أفراد الطاقم، ومستوى التدريب والخبرة، وتوافر الموارد والمعدات، كانت من بين العوامل التي ساهمت في تحسين مستوى الأداء البشري خلال بعض مراحل الاستجابة للحريق. في المقابل، أظهرت النتائج أن ضغط الوقت، وتعقيد المهام التشغيلية، والظروف البيئية داخل غرفة الماكينات أثناء الطوارئ، كانت من أكثر العوامل التي ساهمت في زيادة احتمالية الخطأ البشري أثناء تنفيذ بعض الإجراءات الحرجة.

كما أظهرت نتائج تطبيق النموذج الأساسي Basic CREAM أن أوضاع التحكم المعرفي المرتبطة بالمهام التشغيلية لم تكن ثابتة عبر جميع مراحل الاستجابة للحريق، حيث ارتبطت بعض المهام ذات الطبيعة الروتينية أو المنظمة نسبيًا بوضع التحكم التكتيكي Tactical Control، في حين انتقلت بعض المهام الحرجة الأخرى إلى الوضع الانتهازي Opportunistic Control نتيجة ارتفاع الضغط الزمني وتعقيد الموقف التشغيلي أثناء الحريق. وتشير هذه النتائج إلى أن مستوى التحكم المعرفي يتأثر بصورة مباشرة بظروف العمل المحيطة أثناء الطوارئ، وهو ما ينعكس على احتمالية الخطأ البشري خلال تنفيذ المهام المختلفة. أما نتائج تطبيق النموذج الممتد Extended CREAM، فقد أظهرت وجود تفاوت ملحوظ في قيم احتمالية الخطأ البشري Human Error Probability (HEP) بين الخطوات الرئيسية والفرعية داخل إجراءات إطفاء الحريق. وقد سجلت المهام المرتبطة بعزل منطقة الحريق وغلق أنظمة التهوية والمداخل، بالإضافة إلى مهام التنسيق والاتصال بين أفراد الطاقم أثناء الاستجابة، مستويات مرتفعة نسبيًا من احتمالية الخطأ البشري مقارنة ببعض المهام الأخرى. ويرتبط ذلك بالطبيعة الحرجة لهذه الإجراءات، وما تتطلبه من سرعة في التنفيذ ودقة في اتخاذ القرار تحت ظروف تشغيلية وضغط مرتفع.

كما أظهرت النتائج أن المراحل الأولى من الاستجابة للطوارئ، خاصة مرحلة اكتشاف الحريق والإبلاغ عنه، تمثل عنصرًا حاسمًا في كفاءة السيطرة على الحادث، حيث يؤدي أي تأخير أو قصور في هذه المرحلة إلى زيادة تعقيد الموقف التشغيلي في

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

المراحل التالية. كذلك أشارت النتائج إلى أن فعالية الاتصال والتنسيق بين أفراد الطاقم كان لها تأثير مباشر على خفض احتمالية الخطأ البشري أثناء تنفيذ عمليات مكافحة الحريق.

4. المناقشة

تكشف نتائج تطبيق نموذج CREAM أن احتمالية الخطأ البشري أثناء إطفاء حريق غرفة الماكينات لا ترتبط بخطوة واحدة فقط، بل تتوزع عبر سلسلة الاستجابة للطوارئ، بداية من اكتشاف الحريق والإبلاغ عنه، مرورًا بعزل منطقة الحريق وتجهيز الفرق والمعدات، وصولًا إلى مكافحة الحريق والتحقق من السيطرة عليه. وهذا يعني أن الاستجابة للحريق ليست إجراءً فنيًا بسيطًا، وإنما عملية تشغيلية مركبة تتأثر بسرعة القرار، ودقة الاتصال، وجاهزية المعدات، ومستوى تدريب الطاقم، وطبيعة بيئة غرفة الماكينات نفسها. وتتفق هذه النتيجة مع ما توصل إليه Sarıalioğlu *et al.* (2020)، حيث أوضحوا أن حرائق غرفة الماكينات لا يمكن تفسيرها من خلال الأعطال الفنية وحدها، بل تتداخل فيها العوامل البشرية والتنظيمية، مثل ضعف الاتصال، وقصور إجراءات الصيانة، وعدم كفاءة الاستجابة للطوارئ. كما تدعم نتائج الدراسة الحالية هذا الاتجاه؛ إذ أظهرت أن الخطوات المرتبطة بعزل منطقة الحريق، وغلق فتحات التهوية، وتنفيذ المكافحة الفعلية للحريق جاءت ضمن الخطوات الأعلى خطورة، لأنها تتطلب تنفيذًا سريعًا ودقيقًا في بيئة تشغيلية شديدة الضغط.

كما بينت النتائج أن ضغط الوقت وتعقيد المهمة كانا من أبرز العوامل التي رفعت احتمالية الخطأ البشري، خصوصًا في مرحلة مكافحة الحريق. ويتفق ذلك مع Zhang *et al.* (2022)، الذين أشاروا إلى أن حرائق غرفة الماكينات قد تتطور سريعًا بفعل تأثيرات متتابعة داخل الأنظمة المتجاورة، وهو ما يجعل التأخير في الاستجابة أو الخطأ في تنفيذ الإجراء سببًا مباشرًا في تصاعد الحادث. وبناءً على ذلك، فإن ارتفاع احتمالية الخطأ في مرحلة المكافحة لا يرجع فقط إلى صعوبة استخدام معدات الإطفاء، بل إلى طبيعة الموقف نفسه، حيث يعمل الطاقم تحت ضغط زمني وحراري ونفسي مرتفع.

أما فيما يتعلق بجودة الاتصال والتنسيق، فقد أظهرت النتائج أنها من العوامل الحاسمة في خفض أو رفع احتمالية الخطأ البشري. فالخطوات التي تحتاج إلى تبادل سريع للمعلومات بين الجسر وغرفة الماكينات وفريق الإطفاء تصبح أكثر عرضة للفشل إذا لم تكن قنوات الاتصال واضحة ومجربة مسبقًا. وتتفق هذه النتيجة مع ما أشار إليه Berg (2013) بشأن أهمية ثقافة السلامة والتنسيق الجماعي في تقليل الأخطاء البشرية داخل العمليات البحرية، كما تتفق مع Ahn & Kurt (2020)، اللذان أكدا أن الاستجابة الطارئة لحرائق غرفة الماكينات تتأثر بدرجة كبيرة بجودة الاتصال، وتوزيع الأدوار، ومستوى التحكم المعرفي أثناء تنفيذ إجراءات الطوارئ.

وأظهرت النتائج كذلك أن بعض المهام، مثل اكتشاف الحريق والإبلاغ عنه، جاءت في مستوى خطورة متوسط، لكنها تظل مرحلة شديدة الحساسية؛ لأن أي خطأ أو تأخير فيها ينعكس على باقي مراحل الاستجابة. وهذه النتيجة مهمة لأنها توضح أن الخطورة لا تُقاس فقط بقيمة احتمالية الخطأ في الخطوة نفسها، بل أيضًا بتأثيرها المتسلسل على الخطوات التالية. ويتفق ذلك مع Li *et al.* (2022)، الذين أوضحوا أن حريق غرفة الماكينات قد يمتد أثره إلى أنظمة الطاقة والدفع، مما يجعل الاكتشاف المبكر والاستجابة السريعة عاملين حاسمين في منع توسع الخطر.

وفيما يخص نموذج CREAM، أظهرت النتائج أن النموذج ساعد في الانتقال من مجرد وصف الإجراءات إلى تحديد الخطوات الأكثر عرضة للخطأ البشري. وهذه النقطة تتفق مع Rashed (2016)، الذي أكد ملاءمة CREAM للعمليات الحرجة على متن السفن لأنه يربط الأداء البشري بالسياق التشغيلي المحيط به. كما تتفق مع Aydin *et al.* (2024)، حيث

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

أوضحوا أن استخدام CREAM في عمليات مرتبطة بمعدات الإطفاء الطارئة يساعد على تقدير موثوقية أداء الطاقم، وتحديد نقاط الضعف التي تحتاج إلى تحسين تدريبي أو إجرائي.

وتشير نتائج الدراسة الحالية أيضًا إلى أن التدريب لا ينبغي أن يكون عامًا أو تقليديًا، بل يجب أن يوجه إلى الخطوات التي أظهرت احتمالية خطأ أعلى، مثل عزل منطقة الحريق، وتشغيل أنظمة الإطفاء، والتنسيق أثناء تنفيذ المكافحة. وهذه النتيجة تضيف بعدًا تطبيقيًا مهمًا؛ لأن الهدف من تقدير HEP ليس إنتاج قيمة رقمية فقط، بل تحويل هذه القيمة إلى قرارات تدريبية وتشغيلية تساعد على تقليل الخطأ البشري. ويتفق ذلك مع توجهات دراسات HRA الحديثة مثل Uflaz *et al.* (2023) و Lee *et al.* (2024)، والتي أكدت أهمية استخدام نماذج الاعتمادية البشرية في تحديد أولويات السلامة داخل العمليات البحرية.

بشكل عام، تؤكد النتائج أن حرائق غرفة الماكينات تمثل موقفًا تشغيليًا عالي التعقيد، وأن السيطرة عليها لا تعتمد فقط على توافر معدات الإطفاء، بل على قدرة الطاقم على تنفيذ إجراءات متتابعة بدقة وتنسيق تحت ضغط شديد. ومن ثم، فإن تطبيق CREAM يوفر أداة عملية لفهم مواضع الضعف في الأداء البشري، وتحديد المهام الحرجة التي تحتاج إلى تطوير في التدريب، وتحسين في إجراءات العمل، وتعزيز في نظم الاتصال والتنسيق أثناء الطوارئ.

5. التوصيات

في ضوء نتائج الدراسة الحالية وما أظهره تطبيق نموذج CREAM من تفاوت في احتمالية الخطأ البشري بين خطوات إطفاء حريق غرفة الماكينات، يمكن تقديم مجموعة من التوصيات التي تسهم في دعم السلامة البحرية وتحسين كفاءة الاستجابة للطوارئ على متن السفن، وذلك على النحو الآتي:

- ضرورة التركيز على التدريب العملي المتخصص لفرق مكافحة الحريق داخل غرفة الماكينات، مع الاهتمام بتكرار سيناريوهات الطوارئ المرتبطة بالحريق تحت ظروف تشغيلية تحاكي الواقع الفعلي من حيث ضغط الوقت وارتفاع درجة التعقيد.
- تطوير برامج التدريب البحري بحيث لا تقتصر على الجوانب الفنية لتشغيل معدات الإطفاء، وإنما تشمل كذلك مهارات الاتصال والتنسيق واتخاذ القرار والعمل الجماعي أثناء المواقف الحرجة.
- الاهتمام بمراجعة إجراءات الاستجابة للطوارئ الخاصة بحرائق غرفة الماكينات بصورة دورية، والعمل على تبسيط بعض الخطوات التشغيلية الحرجة التي أظهرت ارتفاعًا في احتمالية الخطأ البشري أثناء تنفيذها.
- تعزيز نظم الاتصال والتنسيق بين الجسر وغرفة الماكينات وفرق مكافحة الحريق، مع التأكد من وضوح المسؤوليات والأدوار الخاصة بكل فرد أثناء تنفيذ خطة الطوارئ.
- إجراء تدريبات دورية على عزل منطقة الحريق وغلق أنظمة التهوية، باعتبارها من أكثر الخطوات حساسية وتأثيرًا على السيطرة على الحريق وتقليل انتشاره داخل السفينة.
- دعم استخدام نماذج تقييم اعتمادية الأداء البشري Human Reliability Assessment (HRA)، وخاصة نموذج CREAM، داخل أنظمة إدارة السلامة البحرية، بهدف تحديد المهام الأكثر عرضة للخطأ البشري قبل وقوع الحوادث.
- تشجيع شركات الملاحة والمؤسسات البحرية على دمج نتائج تحليل الخطأ البشري ضمن خطط إدارة المخاطر وبرامج السلامة التشغيلية، بما يساعد على تحسين كفاءة الاستجابة للطوارئ وتقليل احتمالية الحوادث البحرية.

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

- تطوير إجراءات الفحص والصيانة الدورية لأنظمة الكشف والإطفاء داخل غرفة الماكينات، لضمان جاهزية المعدات وتقليل الضغط التشغيلي الواقع على أفراد الطاقم أثناء الطوارئ.
- الاستفادة من التقنيات الرقمية والمحاكاة البحرية الحديثة في تصميم برامج تدريبية تعتمد على سيناريوهات واقعية لحرائق غرفة الماكينات، بما يساعد على رفع مستوى الجاهزية التشغيلية للطاقم.
- التوسع في الدراسات المستقبلية التي تربط بين نماذج CREAM والنماذج الذكية أو الاحتمالية، مثل الشبكات البايزية والمنطق الضبابي، بهدف تحسين دقة تقدير احتمالية الخطأ البشري داخل العمليات البحرية الحرجة.

6. الخاتمة

ركزت الدراسة الحالية على تطبيق نموذج التحليل المعرفي للاعتمادية والأخطاء (CREAM) لتقدير احتمالية الخطأ البشري أثناء عمليات إطفاء حريق غرفة الماكينات على متن السفن، انطلاقًا من أهمية العنصر البشري في كفاءة الاستجابة للطوارئ داخل البيئات البحرية عالية الخطورة. وقد سعت الدراسة إلى تحليل إجراءات إطفاء الحريق إلى مجموعة من الخطوات الرئيسية والفرعية، ثم تقييم تأثير الظروف التشغيلية والمعرفية المحيطة على أداء الطاقم أثناء تنفيذ هذه الإجراءات. وأظهرت النتائج أن احتمالية الخطأ البشري تختلف من مرحلة إلى أخرى داخل عملية الاستجابة للحريق، حيث ارتفعت بصورة أكبر في المهام المرتبطة بعزل منطقة الحريق، وغلق أنظمة التهوية، والتنسيق بين أفراد الطاقم، وتنفيذ عمليات مكافحة الحريق تحت ضغط الوقت والظروف التشغيلية المعقدة. كما أوضحت الدراسة أن جودة الاتصال، ومستوى التدريب، وتوافر الموارد والمعدات، تمثل عوامل مؤثرة بصورة مباشرة على كفاءة الأداء البشري أثناء الطوارئ. كما بينت الدراسة أن نموذج CREAM يوفر إطارًا تحليليًا فعالًا لفهم العلاقة بين الأداء البشري والسياق التشغيلي داخل العمليات البحرية الحرجة، إذ لا يقتصر دوره على تقدير احتمالية الخطأ البشري فقط، بل يساعد كذلك على تحديد المهام الأكثر حساسية والتي تحتاج إلى دعم تدريبي أو تشغيلي لتحسين مستوى السلامة البحرية. ومن خلال النتائج التي تم التوصل إليها، تؤكد الدراسة أن التعامل مع حرائق غرفة الماكينات لا يعتمد فقط على كفاءة أنظمة الإطفاء والمعدات الفنية، وإنما يرتبط بصورة كبيرة بقدرة الطاقم على تنفيذ الإجراءات التشغيلية بسرعة ودقة وتنسيق أثناء المواقف الحرجة. لذلك، فإن تعزيز التدريب العملي، وتحسين نظم الاتصال، والاستفادة من نماذج تقييم الاعتمادية البشرية داخل أنظمة إدارة السلامة البحرية، يمثل من العوامل الأساسية للحد من الأخطاء البشرية ورفع كفاءة الاستجابة للطوارئ على متن السفن. وفي النهاية، تفتح الدراسة المجال أمام مزيد من الأبحاث التطبيقية التي تهدف إلى تطوير استخدام نماذج HRA وCREAM داخل العمليات البحرية المختلفة، وربطها بالتقنيات الحديثة والنماذج الذكية، بما يسهم في دعم سلامة النقل البحري وتقليل المخاطر المرتبطة بالعمليات الحرجة على متن السفن.

المراجع

Ahn, S. I., & Kurt, R. E. (2020). Application of a CREAM based framework to assess human reliability in emergency response to engine room fires on ships. *Ocean Engineering*, 216, 108078.

Ahn, S. I., Kurt, R. E., & Akyuz, E. (2022). Application of a SPAR-H based framework to assess human reliability during emergency response drill for man overboard on ships. *Ocean Engineering*, 251, 111089.

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

Akyuz, E., Celik, M., Akgun, I., et al. (2018). Prediction of human error probabilities in a critical marine engineering operation on-board chemical tanker ship: The case of ship bunkering. *Safety Science*, 110, 102–109.

Aydin, M., Sezer, S. I., Arici, S. S., & Akyuz, E. (2024). Predicting human reliability for emergency fire pump operational process on tanker ships utilising fuzzy Bayesian Network–CREAM modelling. *Ocean Engineering*, 314, 119717.

Berg, H. P. (2013). Human factors and safety culture in maritime safety. *Marine Navigation and Safety of Sea Transportation: STCW, Maritime Education and Training (MET), Human Resources and Crew Manning, Maritime Policy, Logistics and Economic Matters*, 107, 107-115.

EMSA (2024). *Annual overview of marine casualties and incidents 2024*. European Maritime Safety Agency.

Hollnagel, E. (1998). *Cognitive reliability and error analysis method (CREAM)*. Elsevier.

IMO (n.d.). *International Code for Fire Safety Systems (FSS Code)*. International Maritime Organization

IMO (n.d.). *SOLAS Chapter II-2: Fire protection, fire detection and fire extinction*. International Maritime Organization

Lee, D., Kim, H., Koo, K., & Kwon, S. (2024). Human reliability analysis for fishing vessels in Korea using Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM). *Sustainability*, 16(9), 3780.

Li, C., Zhang, H., Zhang, Y., & Kang, J. (2022). Fire risk assessment of a ship's power system under the conditions of an engine room fire. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(11), 1658.

Ma, L., Ma, X., & Chen, L. (2024). Risk evolution from causes to consequences of engine room fires on ships by mapping bow-tie into fuzzy Bayesian network. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 23(6), 423-438.

Rashed, S. K. (2016). The concept of human reliability assessment tool CREAM and its suitability for shipboard operations safety. *Journal of Shipping and Ocean Engineering*, 6, 313-320.

Rothblum, A. M., Wheal, D., Withington, S., Shappell, S. A., Wiegmann, D. A., Boehm, W., & Chaderjian, M. (2002). Human factors in incident investigation and analysis. *2nd International Workshop on Human Factors in Offshore Operations (HFW2002)*, Houston, Texas.

Sarıalioğlu, S., Uğurlu, Ö., Aydın, M., Vardar, B., & Wang, J. (2020). A hybrid model for human-factor analysis of engine-room fires on ships: HFACS–PV&FFTA. *Ocean Engineering*. 217, 107992

Zhang, H., Li, C., Zhao, N., Chen, B. Q., Ren, H., & Kang, J. (2022). Fire risk assessment in engine rooms considering the fire-induced domino effects. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(11), 1685.