دراسة الانهيارات الإنشائية في المقدمة الأمامية والخلفية لسفن بضائع الصب

[*]مروان خليل غويله ، بلقاسم محمد الأعوج ، عبدالسلام رمضان دلف

كلية الموارد البحرية ، الجامعة الأسمرية الإسلامية ، زليتن ، ليبيا.

[*]مراسلة الؤلف: *mgweila.zl@gmail.com*

الملخص

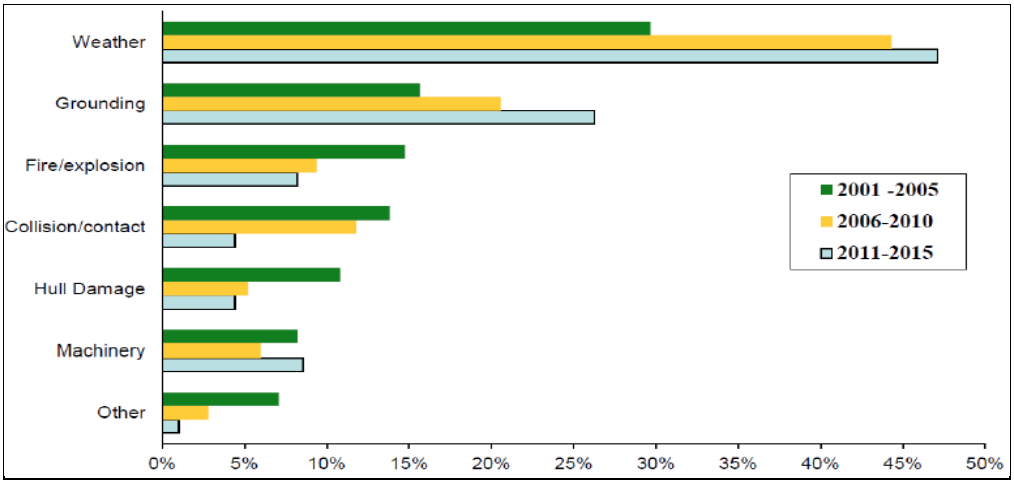
تناولت هذه الدراسة الانهيارات الإنشائية لسفن البضائع الصب، وتم تحديد أنواع وأماكن تواجد بعض هذه الانهيارات بمناطق النهاية الأمامية والخلفية، حيث إن الكثير من الحوادث الكارثية تحدث نتيجة انهيارات إنشائية وظهور نقاط ضعف جديدة في الإطار الإنشائي لبدن السفن والتي أدت إلى حدوث كوارث طبيعية قد تصل إلى حالات الوفاة والإصابات وكوارث بيئية خطيرة, ناهيك عن الخسائر المادية بالملايين نتيجة لهذه الحوادث كل عام, وتمثل الانهيارات الإنشائية لبدن السفينة المرتبة الخامسة في أسباب الخسارة الكلية للسفن التي تزيد حمولتها الإجمالية عن 500 طن، من هنا استنبطت الدراسة المشكلة في المناطق التي يجب على المعاين معاينتها نتيجة ضعفها واحتمالية انهيارها وتحديد نوع الانهيار المحتمل حدوثه في النهاية الأمامية والخلفية في مثل هذه النوعية من السفن (البضائع السائبة). واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي حيث ناقشت العوامل المؤثرة والتي تؤدي إلى انهيار بدن السفينة مثل عمر السفينة والعيوب في التصميم وعملية البناء للسفن ناقلات البضائع السائبة. وخلص البحث إلى مجموعة من النتائج أهمها : بأن الانهيارات الانشائية ببدن ناقلات البضائع الصب في منطقة النهاية الأمامية والخلفية، تتمثل الكسور والتشوهات أهم تلك الانهيارات ، والكسور هي أكثر الانهيارات الإنشائية المتوقع حدوثها على السفينة وذلك بنسبة حوالى 80% من مجموع الانهيارات الإنشائية المتوقعة، بينما تعد التشوهات هي أقل الانهيارات الإنشائية المتوقع حدوثها وذلك بنسبة 20% فقط. و تصنف منطقة النهاية الأمامية بأنها أكثر عرضة لحدوث الانهيارات الإنشائية حيث إنها تتعرض إلى أحمال كبيرة بنسبة تصل الى 60% بينما منطقة النهاية الخلفية أقل عرضة بنسبة 40%. وانتهت الدراسة إلى توصيات تساعد في الرفع من مستوى عملية المعاينة، والتوصية كذلك للمكلف بالمعاينة بشأن التركيز على أماكن الضعف المتوقع حدوث انهيارات بها.

1-المقدمة

يعد النقل البحري الذي يتم بموجبه نقل 90% من إجمالي حجم التجارة العالمية هو شريان الاقتصاد العالمي, وبحسب تقرير الأونكتاد 2019 فإن حجم البضائع المنقولة بحرا قد بلغ 11.079 مليار طن متري سنويا, حيث بلغ عدد سفن النقل حول العالم حوالي 95.4 ألف سفينة بحمولة 1.97 مليار طن ومن هنا جاء هذا البحث كي نناقش ونحلل ماهي المخاطر الإنشائية التي تتعرض لها السفن وما دور المنظمة البحرية الدولية وحكومات الدول وهيئات التصنيف والإشراف والمهتمين بصناعة النقل البحري في الحفاظ على سلامة الملاحة البحرية للسفن وحيث إن سلامة السفن وسلامة الملاحة البحرية من أهم عناصر منظومة السلامة البحرية لدى المنظمة البحرية الدولية التي هدفت منذ إنشائها عام 1948م عن طريق إقرارها للعديد من الاتفاقيات والمعاهدات والقرارات للرفع من

مستوى السلامة البحرية للحصول على سفن أكثر أمانا، وبحار ومحيطات أكثر نظافة، في حين تقع مسؤولية تنفيذ وتطبيق ما تم إقراره على الدول والجهات المعنية المهتمة بسلامة السفن ومنظومة النقل البحري.

تهتم الدراسة في هذا البحث بدراسة العيوب الإنشائية التي تحدث لبدن السفينة وتحديد أكثر العناصر الإنشائية احتمالا للانهيار لذلك تسلط الدراسة الضوء على هذا الموضوع لمحاولة تجنب هذه الأخطار. كما هو معروف هناك عدة عوامل تؤثر على حالة أجسام السفن من بينها عمر السفينة الذي يؤدي إلى التدهور الهيكلي بسبب تلف الطلاء والتآكل والتشقق والتشوه (الخدوش)، والأضرار الميكانيكية بسبب البلى. تتميز سفن ناقلات البضائع السائبة ببعض الخصائص الفريدة التي تؤثر على حالة الهيكل وتؤثر عليها مثل الحمل الصافي الكبير على القاع مزدوج ، وضغوط القص العالية على جوانب الهيكل، ومعدل التحميل العالي ، والقوة العرضية وغيرها [1،2،3]. على الرغم من ذلك، انخفض إجمالي خسارة السفن بسبب الأضرار التي تلحق ببدن السفن على مر السنين ؛ ولكن لا تزال تمثل أحد أهم خمسة أسباب للخسارة الكلية للسفن التي تزيد حمولتها الإجمالية عن 500 طن. يمكن إثبات ذلك من خلال الإحصائيات الأخيرة للاتحاد الدولي للتأمين البحري حول إجمالي خسائر السفن خلال الفترة 2001-2015 على الشكل رقم (1).



الشكل (1) إجمالي الخسائر حسب الأسباب لجميع أنواع السفن التي تزيد عن 500 طن[4].

يمكن أن يُعزى هذا الانخفاض إلى العديد من العوامل ، ومع ذلك ، فإن أحد الأسباب الرئيسة هو فهم أفضل للأحمال التي تعمل على هيكل البدن والمتطلبات الجديدة لإجراء التحليل العددي على هيكل البدن[4].

أظهرت العديد من الدراسات السابقة أهمية قطاع النقل البحري وسلامة الملاحة البحرية في العمل نحو جعل السفن أكثر أمانا وضمان سلامة الملاحة من خلال تحديد أهم الأجزاء الإنشائية لبدن السفن وأنواع المعاينات التي تخضع لها وأماكن الضعف وما ينتج عنها من انهيارات إنشائية وفق قواعد هيئات التصنيف والإشراف وإصدار نتائج وتوصيات لتطوير طرق المعاينة والإصلاح للبدن، وقد تم أدخال المحاكاة في هذه العملية الدقيقة كما تم نشره في الدراسة التالية **"موثوقية عارضة الهيكل باستخدام طريقة محاكاة تعتمد على مونت كارلو."** التي نشرت عام **2013** بواسطة (Gaspar & Guedes Soares, 2013) ، ومحاكاة اخرى معتمدة على الوقت التي تم استخدامها في الدراسة التالية **"تأثير لحظات الانحناء غير الخطية الناتجة عن الموجة العمودية على موثوقية عارضة بدن السفينة"** نشرت عام **2016** بواسطة (Gaspar et al.,). كما توجد دراسة اخرى بعنوان **"الموثوقية والقوة المتبقية للناقلات مزدوجة الهيكل المصممة وفقًا للقواعد الهيكلية المشتركة الجديدة IACS"** التي نشرت بتاريخ **2009** بواسطة (Hussein & Guedes Soares, 2009 والدراسة الاخرى التي كانت بعنوان **" تحليل موثوقية السفن السليمة والتالفة مع مراعاة لحظات الانحناء الرأسي والأفقي مجتمعة"** التي نشرت عام **2008** بواسطة Khan & Das حيث تهدف هذه الأبحاث الى تقييم أداء الهياكل المتضررة ، وركزت بشكل أساسي على قدرة عزم الانحناء الرأسي المتبقية في منطقة الوسط. استخدمت معظم هذه الدراسات مدى الضرر المفترض لتقييم السلامة الهيكلية للسفن المتضررة . كما تم استخدام المعلومات المستمدة من قواعد جمعية التصنيف والتي توجد في الارشادات الموجودة في الدراسة التالية **"القواعد الهيكلية المشتركة لناقلات البضائع السائبة وناقلات النفط"** التي نشرت عام **2014** بواسطة (IACS, 2014) لتحديد حجم ضرر التصادم بشكل حاسم. تم استخدام التباين في مثل هذا الضرر المحدد أيضًا للتحقيق في العواقب على السلامة مع الأخذ في الاعتبار القوة المتبقية. يتم حساب احتمال الفشل الإنشائي باستخدام طرق الموثوقية الهيكلية كما هو الحال بالنسبة للسفن السليمة. ومع ذلك ، فإن الأضرار المقدرة تمثل عيبًا كبيرًا في هذا الإجراء ، لأنها غالبًا ما تكون غير كافية للابتكار في التصميم الهيكلي لأنها لا تحتوي على احتمالية حدوث محددة بوضوح وقد لا تعالج جميع الظروف

العرضية المحتملة. يتم تقديم الإجراء المماثل ، مع وصف الضرر الحتمي لناقلات السوائب (Yoshikawa et al., 2015). ومع ذلك ، فإن الاماكن المتوقع حدوث بها انهيارات انشائية على السفن غير مؤكدة إلى حد ما ، وبالتالي فإن التوصيف الاحتمالي لهذه النوعية من الانهيارات أمر مرغوب فيه. كما توجد في الدراسة التالية التي بعنوان **"الاستفادة من عملية فحص الإجهاد القوية للتصميم الأولي وطوال دورة حياة السفينة"** التي نشرت عام **2013** بواسطة (HUNTER et al., 2013) والتي قدمت تقييم حالة الهيكل نشاطًا حاسمًا في الصناعة البحرية لأنه مرتبط بشكل مباشر بالحالة الوظيفية للسفينة. يتم تنفيذ تقييم حالة الهيكل حاليًا في إطار اتجاهين. أولاً ، معاينات التصنيف الدورية ، والتي يتم خلالها مقارنة حالة الهيكل ببعض المعايير المحددة مسبقًا. حيث يتم إجراء استطلاعات الحالة تحت مسؤولية مالك السفينة. تتوفر أيضًا أدوات تحليل هيكلية أكثر تخصصًا في صناعة السفن لاستكمال أدوات تحليل الموثوقية مثل تقييم التعب المبسط المتجذر في نظرية الحزمة مع إجراء تحليل التعب القائم على الطيف كما الذي قدمه الباحث في هذه الدراسة.

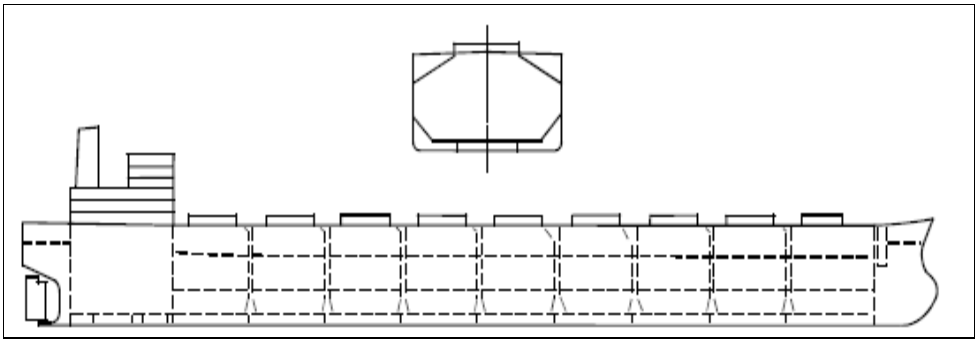
قدمت الدراسة التالية **" تمكن من التنبؤ الدقيق بحالة الهيكل لتحسين الصيانة والاستثمار"** التي نشرت عام **2011** بواسطة(EMMETT et al., 2011) والتي قامت بتحديد تقييم حالة الهيكل في قطاع النقل البحري وقدمت نموذجين بحثيين ممولين من المفوضية الأوروبية ، وهما -HCA-Flag ship.، و RISPECT الذى يعتمد على نظام الخبراء القائم على المخاطر لبناء السفن طوال العمر وهو مشروع الفحص والصيانة وتصميم هياكل السفن الجديدة ، والذي يوفر دعم القرار والتنبؤ بالعيوب.

بالرغم من التحسينات التي طرأت في تصميم هياكل السفن والتقويات التي طرأت على أجزاء بدن السفن - وقد تطورت إنشائيا تقدما كبيرا- إلا أننا نلاحظ الكثير من الحوادث الكارثية نتيجة انهيارات إنشائية ونقاط ضعف جديدة في البدن وتسببت في كوارث طبيعية قد تصل حالات الوفاة والإصابات فيها بالآلاف في حالة غرق العبارات وكوارث بيئية مؤلمة في حالات غرق ناقلات النفط, ناهيك عن الخسائر المادية بالملايين كل عام ؛ حيث تمثل الانهيارات الإنشائية لبدن السفينة المرتبة الخامسة في أسباب الخسارة الكلية للسفن التي تزيد حمولتها الإجمالية عن 500 طن[4].

2- الانهيارات الإنشائية المتوقعة في ناقلات البضائع السائبة

يجمع هذا الجزء تفاصيل الانهيارات الإنشائية المتوقعة الحدوث في السفن وتحليل هذه الانهيارات ويهدف هذا الجزء إلى توفير التوجيه عند النظر في حالات مماثلة من التلف والفشل.

يقدم هذا الجزء إرشادات للسفن من نوع ناقل البضائع السائبة التي يتم إنشاؤها بسطح واحد وخزانات ذات قاع مزدوج ، وخزانات ذات قادوس وجانب علوي في أماكن الشحن ، ويهدف في المقام الأول إلى نقل البضائع الجافة ، بما في ذلك الخام ، بكميات كبيرة. يوضح الشكل (2) المنظر العام النموذجي لسفن ناقلات البضائع السلئبة.



الشكل (2) منظر عام لناقل بضائع سائبة نموذجي

تشمل إرشادات المعاينة المناطق الهيكلية الرئيسة المختلفة للبدن حيث يمكن أن يتم تسجيل الأضرار بها، مع التركيز على السمات الرئيسة للعناصر الهيكلية لكل منطقة. تم تطوير هذا الجزء باستخدام أفضل المعلومات المتاحة حاليًا. الغرض منه هو فقط كدليل لدعم الحكم السليم للمعاينين ، ويجب استخدامه وفقًا لتقدير المعاينين[5،6،7].

1.2 الانهيارات المتوقعة وأماكن تواجدها عند التفتيش تحت سطح السفينة

أ- هدر المواد

قد يتعين تحديد مستوى الفاقد من هياكل التقوية أسفل السطح على طول سطح السفينة عن طريق قياسات السماكة. سيؤدي التأثير المشترك للبيئة البحرية والجو المرتفع الرطوبة داخل عنابر الشحن إلى ارتفاع معدل التآكل.

وقد يحدث تآكل شديد لسطح الفتحة داخل عنبر البضائع وسطح الخزان العلوي ، بسبب صعوبة الوصول لصيانة الطلاء الواقي. قد يؤدي هذا إلى حدوث كسور في الهيكل كما موضح في شكل رقم (3).

الشكل **(3)** التآكل الثقيل لسطح الفتحة وسطح الخزان العلوي

ب- التشوهات:

يجب البحث عن التواء في الهيكل الداعم الأولي ، على سبيل المثال فتحة نهاية الحزم والخزان العلوي. قد يكون سبب هذا الالتواء:

(أ) انحراف التحميل عن دليل التحميل (تحميل الكتلة).

(ب) الضغط المفرط لمياه البحر في الأحوال الجوية القاسية.

(ج) الحمولة الزائدة على سطح السفينة.

(د) مياه البحر على سطح السفينة في الطقس القاسي.

(هـ) الجمع بين هذه الأسباب.

ت- الكسور:

قد تحدث الكسور عند الاتصال بين السطح والحاجز العرضي والعوارض أو التقوية. غالبًا ما يرتبط هذا بتقليل مساحة الاتصال بسبب التآكل.

كسور في الهيكل الأساسي الداعم ، على سبيل المثال عوارض نهاية الفتحة ، يمكن العثور عليها في وصلات اللحام عند الجانب الرأسي للخزان العلوي والعوارض. يمكن تلخيص الانهيارات الإنشائية المتوقع حدوثها فى المنطقة الأولى (سطح السفينة) كما تم توضيحها وتصنيفها فى الجدول (1) :

جدول (1) الانهيارات الإنشائية المتوقع حدوثها على سطح السفينة

الانهيار الإنشائي	تفاصيل الانهيارات المتوقع حدوثها
الكسور	**كسور في زاوية فتحة البضائع الرئيسة.**
	كسر في التماس الملحوم بين الصفيحة السميكة والصفيحة الرقيقة عند السطح المتقاطع.
	كسور في الويب أو في السطح عند أصابع قوس إنهاء الفتحة الطولية.
	كسور في السطح يبدأ من لحام فتحة الوصول.
	كسور في عارضة نهاية الفتحة عند مفصل الأصابع.
	كسور في حزمة نهاية الفتحة عند المفصل إلى الخزان العلوي.
التشوهات	**تشوه وكسور في سطح السفينة حول أداة السحب.**
	شقوق حول القواطع في العارضة المتقاطعة.
الالتواء	**التواء في صفيحة رفيعة بالقرب من صفيحة سميكة عند السطح المتقاطع.**
	الانثناء الكلي للسطح المتقاطع.
	التواء من فتحة coaming وفتحة نهاية الحزمة.

3- مناطق النهاية الأمامية والخلفية

1.3 منطقة هيكل النهاية الأمامية

نظرًا لبيئة المياه المالحة ذات الرطوبة العالية ، يمكن أن يمثل إهدار الهيكل الداخلي في خزان الصابورة الأمامي الذروة مشكلة كبيرة للكثيرين ، وخاصة السفن القديمة. يمكن تسريع تآكل الهيكل عندما لا يكون الخزان مغطى أو عندما لا يتم صيانة الطلاء الواقي بشكل صحيح ، ويمكن أن يؤدي إلى حدوث كسور في الهيكل الداخلي وحدود الخزان.

يمكن أن يحدث التشوه بسبب التلامس الذي يمكن أن يؤدي إلى تلف الهيكل الداخلي مما يؤدي إلى حدوث كسور في طلاء الغلاف. يمكن أن تنتج كسور الهيكل الداخلي في خزان الذروة الأمامية والمساحات أيضًا من حمل تأثير الموجة بسبب الاصطدام واللهث.

ويمكن أن يعاني من أضرار مثل تشوه هيكل السطح ، وتشوه وكسر الحواجز وانهيار الصاري ، إلخ. قد يعاني طلاء الغلاف حول المرساة وأنبوب الزعنفة من التآكل والتشوه والكسر المحتمل بسبب حركة المرساة التي تم تخزينها بشكل غير صحيح [1،5،6]

1.1.3 *الأماكن المتوقع الكشف عنها أثناء التفتيش الداخلي*

أ. هدر المواد:

من المرجح أن يبدأ الهدر (والكسور اللاحقة المحتملة) في المواقع كما هو موضح في الشكل (4) وينبغي إيلاء اهتمام خاص لهذه المناطق. يجب إجراء فحص عن قرب مع اختيار قياسات سمك تمثيلية لتحديد مدى التآكل.

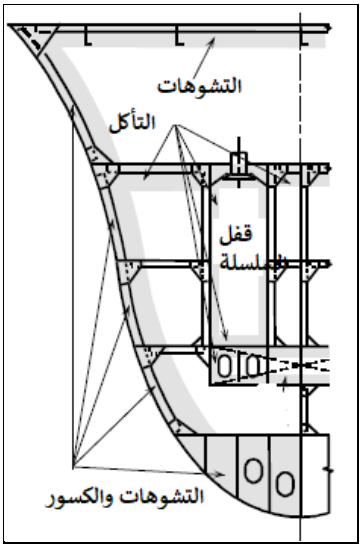
الهيكل في خزانة السلسلة عرضة للتآكل الشديد بسبب التلف الميكانيكي للطلاء الواقي الناجم عن عمل سلاسل المرساة. في بعض السفن ، خاصة السفن الصغيرة ، قد يشكل طلاء الغلاف الجانبي حدودًا لخزانة السلسلة وقد يؤدي التآكل الشديد نتيجة لذلك إلى حدوث ثقوب في طلاء الغلاف الجانبي.

ب. التشوهات:

قد يؤدي الاتصال بجوانب الرصيف والأشياء الأخرى إلى حدوث تشوهات كبيرة وكسور في الهيكل الداخلي. قد يؤثر ذلك على سلامة حدود الخزان المقاوم للماء وحاجز الاصطدام. كما يجب إجراء فحص عن قرب للمنطقة المتضررة لتحديد مدى الضرر.

ت. الكسور:

عادة ما يتم العثور على الكسور في خزان الذروة الأمامية عن طريق الفحص الدقيق للهيكل الداخلي للخزان. حيث غالبًا ما توجد الكسور في المنطقة الانتقالية ويجب الإشارة إلى الجزء 1 ، المنطقة 2 و 3. يمكن ملاحظة الكسور التي تمتد عبر سماكة الطلاء أو خلال اللحامات الحدودية أثناء اختبار ضغط الخزانات و الشكل (4) الهيكل الأمامي - الشكل (4) يوضح مناطق الانهيارات المحتملة(2،3،5،6).



الشكل (4) الهيكل الأمامي - مناطق الانهيارات المحتملة

يمكن تلخيص الانهيارات الإنشائية المتوقع حدوثها في المنطقة الأولى وهى هيكل النهاية الأمامية كما تم توضيحها وتصنيفها في الجدول (2):

جدول **(2)** الانهيارات الإنشائية المتوقع حدوثها فى هيكل النهاية الامامية والخلفية

إعداد : الباحث

الانهيار الإنشائي	تفاصيل الانهيارات المتوقع حدوثها.
الكسور	**كسور في طلاء سطح forecastle عند الحصن.**
	كسور في طلاء الغلاف الجانبي في طريق خزانة السلسلة.
	كسر لشبكة القوس المستعرضة بطريقة القواطع للطول الجانبي.
	كسور في إصبع اتصال قوس إطار الويب بقوس منصة سترينجر.
التشوهات	**تشوه سطح forecastle.**
	تشوه طلاء الغلاف الجانبي في طريقforecastle.

2.3 منطقة 2 هيكل النهاية الخلفية

نظرًا لبيئة المياه المالحة ذات الرطوبة العالية ، يمكن أن يمثل إهدار الهيكل الداخلي في خزان الصابورة الخلفي الذروة مشكلة كبيرة للكثيرين ، وخاصة السفن القديمة. يمكن تسريع تآكل الهيكل عندما لا يكون الخزان مغطى أو عندما لا يتم صيانة الطلاء الواقي بشكل صحيح ، ويمكن أن يؤدي

إلى حدوث كسور في الهيكل الداخلي وحدود الخزان. يمكن أن يحدث التشوه بسبب التلامس أو تأثير الموجة من المؤخرة (والذي يمكن أن يؤدي إلى تلف الهيكل الداخلي مما يؤدي إلى حدوث كسور في طلاء الغلاف. يمكن أن تنتج الكسور في الهيكل الداخلي في خزان الذروة الخلفي والمساحات أيضًا من اهتزاز المحرك الرئيس والمروحة.

1.2.3 *الأماكن المتوقع الكشف عنها اثناء التفتيش الداخلي*

أ. هدر المواد:

من المرجح أن يبدأ الهدر (والكسور اللاحقة المحتملة) في المواقع كما هو موضح في الشكل (5). يجب إجراء فحص عن قرب مع اختيار قياسات السماكة التمثيلية لتحديد مدى التآكل. يجب إيلاء اهتمام خاص لحدود خزان الوقود والمساحات المجاورة لغرفة المحرك الساخنة.

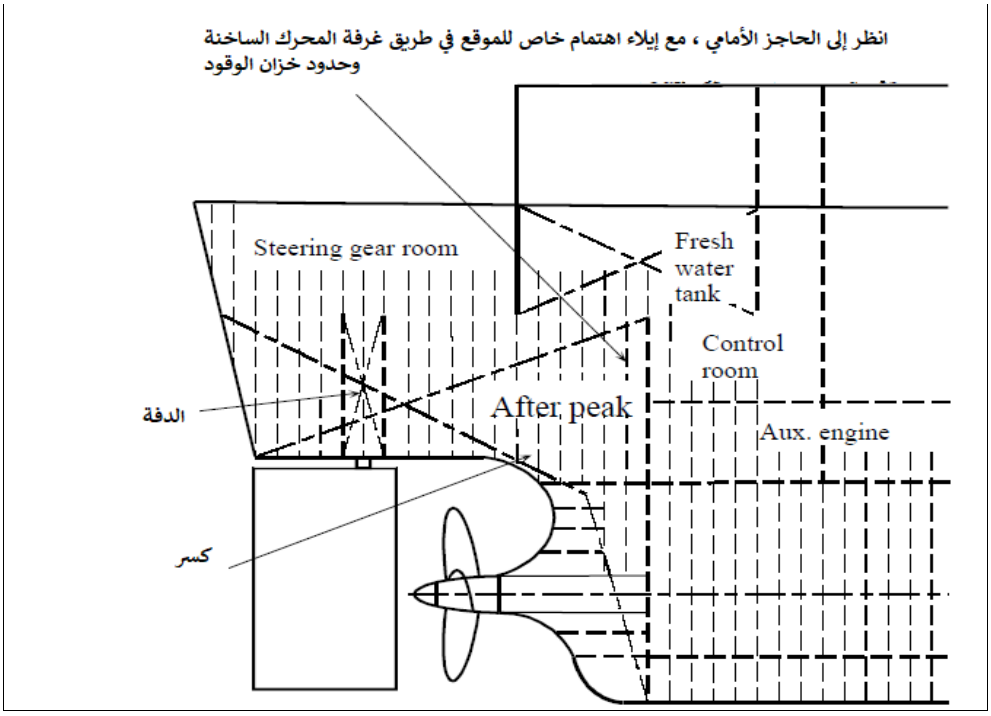
ب. التشوهات:

قد يؤدي الاتصال بجوانب الرصيف والأشياء الأخرى إلى حدوث تشوهات كبيرة وكسور في الهيكل الداخلي. قد يؤثر ذلك على سلامة حدود الخزان وحواجزه المقاومة للماء. يجب إجراء فحص عن قرب للمنطقة المشوهة لتحديد مدى الضرر.

ت. الكسور:

لا يمكن عادةً العثور على الكسور في اللحام عند التوصيلات الأرضية والمواقع الأخرى في خزان الذروة الخلفي ومساحة صندوق الدفة إلا عن طريق الفحص عن قرب.

قد ينكسر الهيكل الذي يدعم حامل الدفة أو يتشوه بسبب الحمل الزائد على الدفة. قد تتعرض البراغي التي تربط حامل الدفة بجهاز التوجيه المسطح للتلف أيضًا تحت هذا الحمل[7].



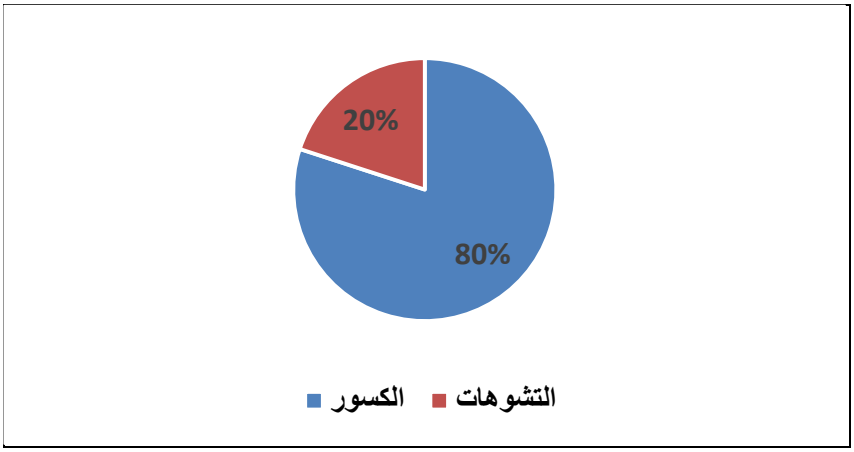
الشكل (5) الهيكل الخلفي - مناطق الانهيارات المحتملة

يمكن تلخيص الانهيارات الإنشائية المتوقع حدوثها في المنطقة الثانية وهى هيكل النهاية الخلفية كما تم توضيحها وتصنيفها في الجدول (3):

جدول (3) الانهيارات الانشائية المتوقع حدوثها فى هيكل النهاية الخلفية

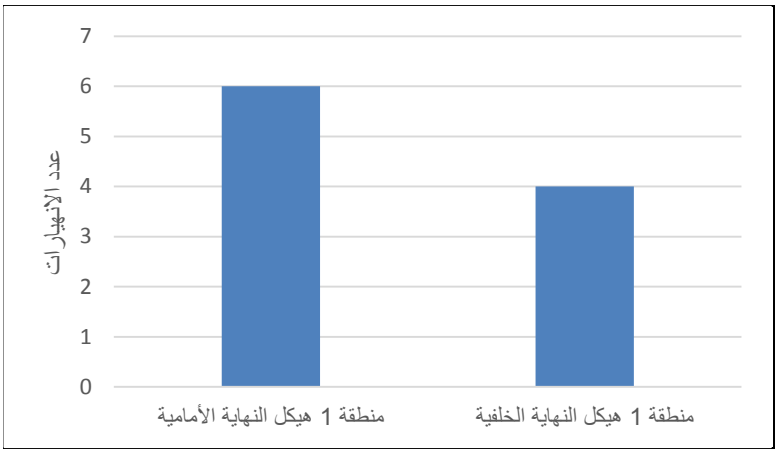
الانهيار الإنشائي	تفاصيل الانهيارات المتوقع حدوثها
الكسور	**كسور في الحاجز الطولي في طريق جذع الدفة.**
	كسور عند توصيل الأرضيات والعارضة / الأقواس الجانبية.
	الكسور المسطحة حيث يتم تركيب حامل الدفة في غرفة القيادة.
	الكسور في أقواس أساس ترس التوجيه ولوحة السطح المشوهة.

يمكن تصنيف جميع الانهيارات الإنشائية المتوقع حدوثها في الجزء الثاني من السفينة وهي منطقة النهاية الأمامية والخلفية إلى : الكسور والتشوهات كما هو مبين في الشكل رقم (6). حيث إن الكسور هي أكثر الانهيارات الإنشائية المتوقع حدوثها على السفينة وذلك بنسبة حوالى 80% من مجموع الانهيارات الإنشائية المتوقعة بينما تعد التشوهات هي أقل الانهيارات الإنشائية المتوقع حدوثها وذلك بنسبة 20% فقط[8]..



الشكل (6) عدد الانهيارات الإنشائية المتوقع حدوثها في مناطق النهاية الأمامية والخلفية

ويمكن تصنيف الأماكن الأكثر عرضة لحدوث الانهيارات الانشائية بها من النتائج التي تم الوصول إليها في هذا الجزء من السفينة حيث إن منطقة النهاية الأمامية أكثر عرضة لحدوث الانهيارات الإنشائية حيث إنها تتعرض إلى أحمال كبيرة بنسبة تصل الى 60% كما هو موضح في الشكل رقم (7).



الشكل (7) عدد الانهيارات الإنشائية لكل منطقة من مناطق النهاية الأمامية والخلفية

4- تقييم المخاطر للكسور الإنشائية المتوقع حدوثها

في هذا القسم ، يتم حساب مؤشر الموثوقية وترتيب المخاطر للأجزاء الأكثر تعرضا للإجهادات الموجودة على سطح السفينة. يُفترض أن يكون الفاصل الزمني 30 عامًا وهو الزمن الافتراضي لعمر تشغيل السفينة. وفقًا لـ (Chen et al., 2011)، فإن القيم المتوسطة لـ lnA و 1 / B للتفصيلات الحساسة لإرهاق سطح السفينة هي 2.05 و 2.17 ، ومعاملات التباين الخاصة بهم هي 13.8٪ و 10٪ على التوالي. يتم حساب احتمال فشل التعب على سطح السفينة P_f باستخدام المعادلات. (1) و (2). يتم عرض المعاملات المتضمنة في هذه المعادلات في الجدول (4)

$$M_i = \int_{a_{oi}}^{a_{ci}} \frac{da}{(\varepsilon_{Yi} * Y(a) * M_k * \sqrt{\pi a})^m} - C_i * v_{0i} * t * \varepsilon_{Si}^m * A_i^m * (1 + {}^{m_i}/_{B_i}) \quad (1)$$

$$P_i = P(M_i \leq 0) \quad (2)$$

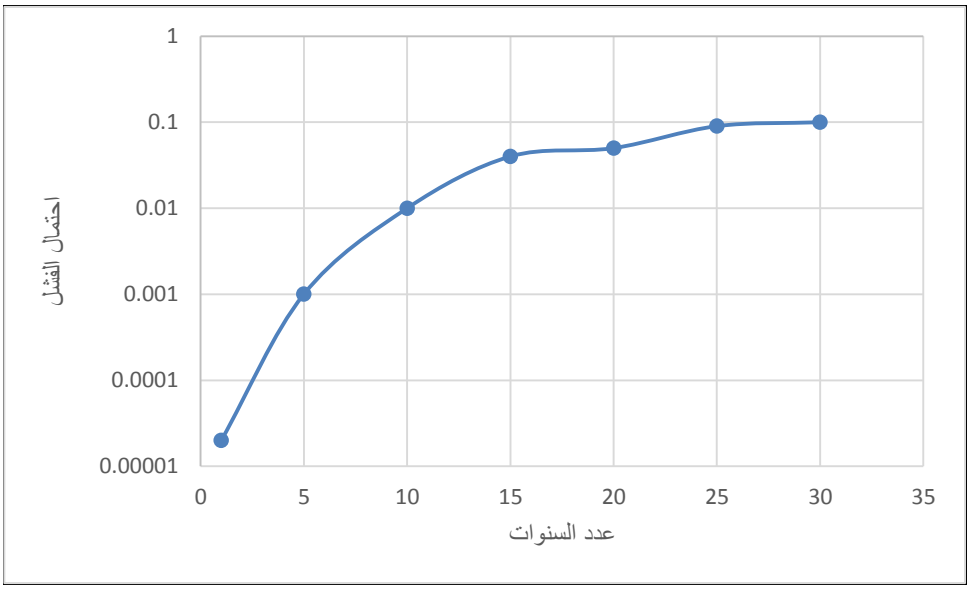
جدول (**4**) قيم المتغيرات العشوائية المستخدمة فى تقييم المخاطر للكسور الإنشائية[9]

المتغيرات العشوائية	المتوسط	معامل الاختلاف
حجم الكراك الأولي، a_0	0.11	**1**
حجم الكراك القابل للكشف a_d	0.89	**1**
متوسط معدل دورة الإجهاد v_0	1*10^6	**0.07**

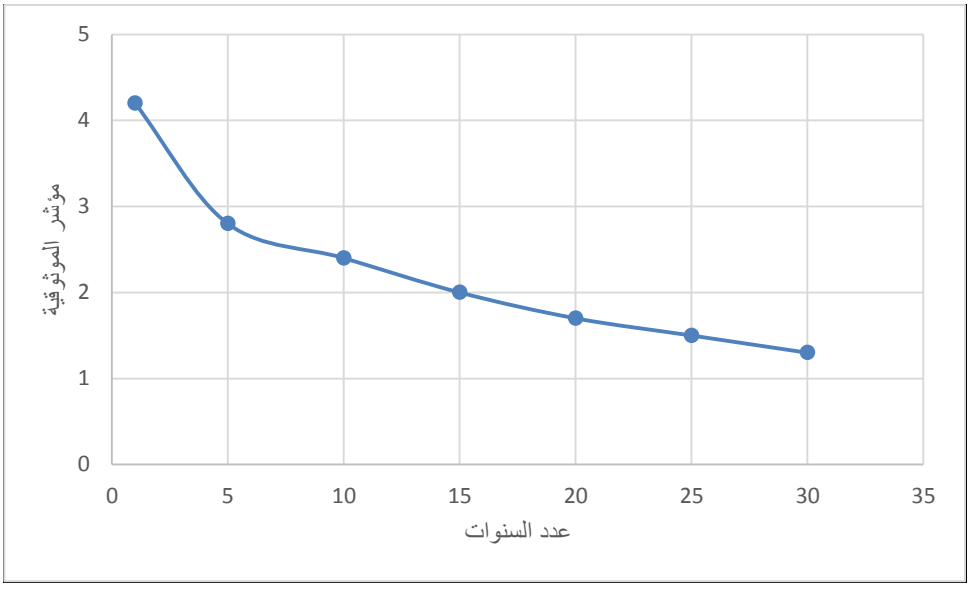
معامل المادةm	3.1	-
معامل المادة ln C	-29.97	**0.017**
خطأ نموذج الإجهاد ε_s	1	**0.1**
خطأ هندسة الإجهاد ، ε_Y	1	**0.1**
نسبة تكلفة الإصلاح r_{cr}	2.5	**0.2**
تكلفة بناء الوحدة C_{cons}	447	**0.2**
قيمة التكلفة الدنيا C_{min}	200	-
قيمة التكلفة القصوى C_{max}	2000	-
البعد الهيكليW	0.6	-
البعد الهيكليL	2	-

تم اعتماد توزيع حجم الخلل الأولي المكافئ في تقييم الكسر ، ويفترض أنه يتبع توزيع Weibull (Moan & Song, 2000).عامل التصحيح الهندسي Y هو دالة مرتبطة بحجم الشق وكذلك العلامات الهندسية الأخرى، مثل نصف طول الشق وسمك الشفة. يعتمد عامل تضخيم الضغط Mk على عمق الشق والمعلمات الهندسية الأخرى ، مثل سمك الحافة ، وارتفاع اللحام ، وزاوية اللحام. تستند قيم Y و M_kإلى نيومان وراجو (Newman & Raju, 1981)وقد تم استخدامها على نطاق واسع في الدراسات السابقة لعملية تقييم أضرار التعب. بالنظر إلى المتغيرات العشوائية المرتبطة بنمو الشقوق الهندسية والتعب ، يمكن إنشاء Y و M_kطبقا لما تم فى هذه الدراسة (Maljaars & Vrouwenvelder, 2014). بالنظر إلى جميع العلامات المتضمنة في تحليل موثوقية التعب ، يتم الحصول على ضرر الإجهاد الاحتمالي لتفاصيل حساسة لإرهاق سطح السفينة التي تم فحصها. يتم حساب مؤشر الموثوقية لهذه التفاصيل باستخدام المعادلة (3) و الشكل (8) يوضح احتمال الفشل المتوقع مع تغير الوقت بالسنوات.

$$\beta_i = \emptyset^{-1}(1 - P_f) \quad (3)$$



الشكل (**8**) احتمال الفشل المتوقع مع تغير الوقت بالسنوات.
المصدر:**(Chen et al., 2011)**



الشكل**(9)** مؤشر الموثوقية للاجهاد على سطح السفينة.
المصدر: **(Chen et al., 2011)**

يظهر كل من احتمالية متغير الوقت لفشل التعب ومؤشر الموثوقية المرتبط به في الشكل (9). كما هو موضح ، يتناقص مؤشر الموثوقية لتفاصيل حساسة لإرهاق سطح السفينة بشكل ملحوظ مع مرور الوقت[10،11]..

يتم حساب تكلفة الإصلاح باستخدام المعادلة (4). ثم على أساس المعادلة (5) ، يتم الحصول على عامل التصنيف. المعاملات المستخدمة في المعادلات. (4) و (5) موضحة في الجدول (4).

$$C_{rep} = C_{cons} * W * L * r_{cr} \tag{4}$$

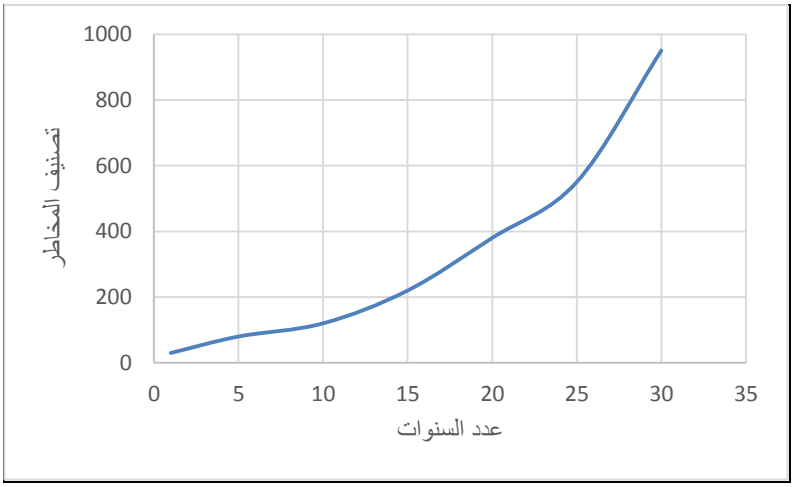
$$Rt_c = \left(\alpha_1 + \alpha_2 \exp\left(\alpha_3 * \frac{C - C_{min}}{C_{max} - C_{min}}\right)\right) * (Rt_{max} - Rt_{min}) + Rt_{min} \tag{5}$$

حيث α_1 و α_2 و α_3هي معاملات مرتبطة بوظائف التصنيف ؛ C هي النتيجة قيد التحقيق (على سبيل المثال ، تكلفة الإصلاح) ؛Rt_c هو عامل التصنيف المرتبط بالنتيجة C ؛ Rt_{min} و Rt_{max} هما القيمتان الدنيا والقصوى المرتبطة بعامل التصنيف ، على التوالي ؛ و C_{min} و C_{max} هما قيمتا الحد الأدنى والأقصى للتكلفة ، على التوالي.

يتم أخذ أوجه عدم اليقين المرتبطة بتكلفة إنشاء الوحدة ونسبة تكلفة الإصلاح في الاعتبار في عملية تقييم المخاطر كما هو موضح في هذا الجدول. هنا ، القيم الحدية Rt_{min} و Rt_{max} هي 5000 و 1500 على التوالي. يتم احتساب تصنيف المخاطر كنتيجة لاحتمالية فشل التعب وعامل تصنيف النتائج المرتبط بتكلفة الإصلاح. بناءً على النتائج الموضحة في الشكل (9) وباستخدام المعادلة (6).

$$R = P * C \tag{6}$$

حيث P هو احتمال حدوث حدث ضار و C هي نتيجة لهذا الحدث. ترتيب المخاطر بالتفصيل المعطى مبين في الشكل .(10). كما هو موضح ، يزداد الترتيب بشكل كبير مع مرور الوقت حيث لا يتم تطبيق أي إجراء إصلاح على التفصيلات الحساسة لإرهاق سطح السفينة. كما يظهر في هذا الشكل المتوسط والمتوسط زائد وناقص واحد للانحراف المعياري لتصنيف المخاطر.



الشكل(10) **تصنيف مخاطر الإرهاق خلال الفترة الزمنية التي تم التحقيق فيها.**

المصدر: (Chen et al., 2011)

يوضح الشكل (11) تصنيف المخاطر عند 10 و 20 عامًا وقيمها المتوقعة هي 120 و 380 على التوالي. كما هو موضح ، يزداد تشتت تصنيف المخاطر بشكل كبير مع مرور الوقت.

يتعرض إطار مؤخرة السفينة وترتيب محمل الدعامة المحتمل وهياكل التوصيل للاهتزازات التي تحدثها المروحة ، والتي قد تؤدي إلى تشقق التعب في المناطق التي تحدث فيها تركيزات الإجهاد.

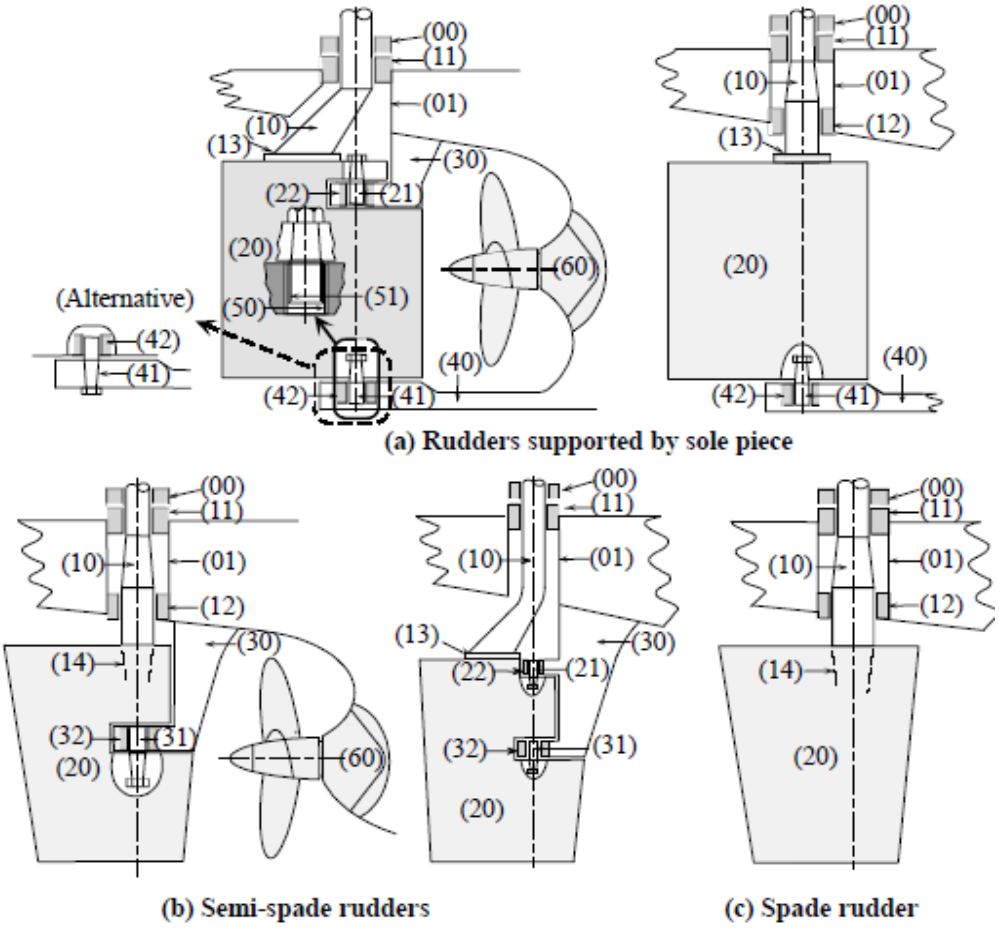
يتعرض بوق الدفة والدفة لتيار متسارع ومتقلب من المروحة ، مما قد يؤدي أيضًا إلى تشقق التعب في المناطق التي تحدث فيها تركيزات الإجهاد.

في الظروف الجوية القاسية ، قد تعاني الدفة من قوى صدم الموجة مما يتسبب في تشوه مخزون الدفة وبوق الدفة وكذلك الدفة نفسها.

قد تتلامس أيضًا الدفة وبوق الدفة وكذلك الدعامات (على ترتيب المحور مع محامل الدعامة) مع الأشياء العائمة مثل جذوع الأخشاب أو الجليد مما يسبب أضرارًا، نظرًا لاستخدام مواد مختلفة في الأجزاء المجاورة والهياكل، فقد يحدث تآكل متسارع (جلفاني) إذا لم تتم صيانة الطلاء الواقي أو الأنودات المضحية بشكل صحيح.

قد تؤدي عيوب التصنيع الداخلية الموجودة مسبقًا في القطع المصبوبة إلى تشقق التعب نتيجة الاجهادات.

ويرد ملخص لاماكن المشاكل المحتملة في الشكل (12)، المسح الكامل لترتيب الدفة ممكن فقط في الحوض الجاف. ومع ذلك ، في بعض الحالات ، يمكن إجراء معاينة بما في ذلك مسح للأضرار من قبل الغواصين أو باستخدام سفينة مجهزة [12،13،14].



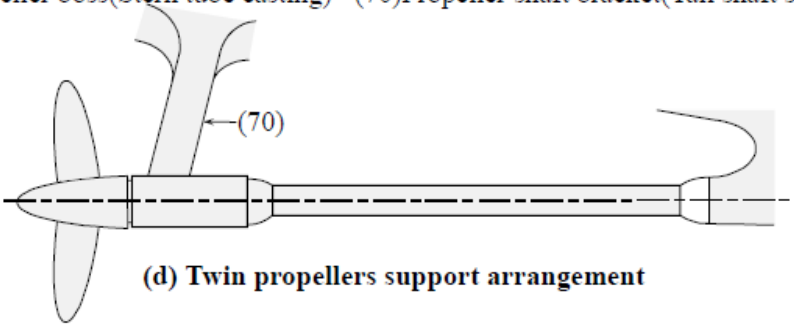
(a) Rudders supported by sole piece

(b) Semi-spade rudders

(c) Spade rudder

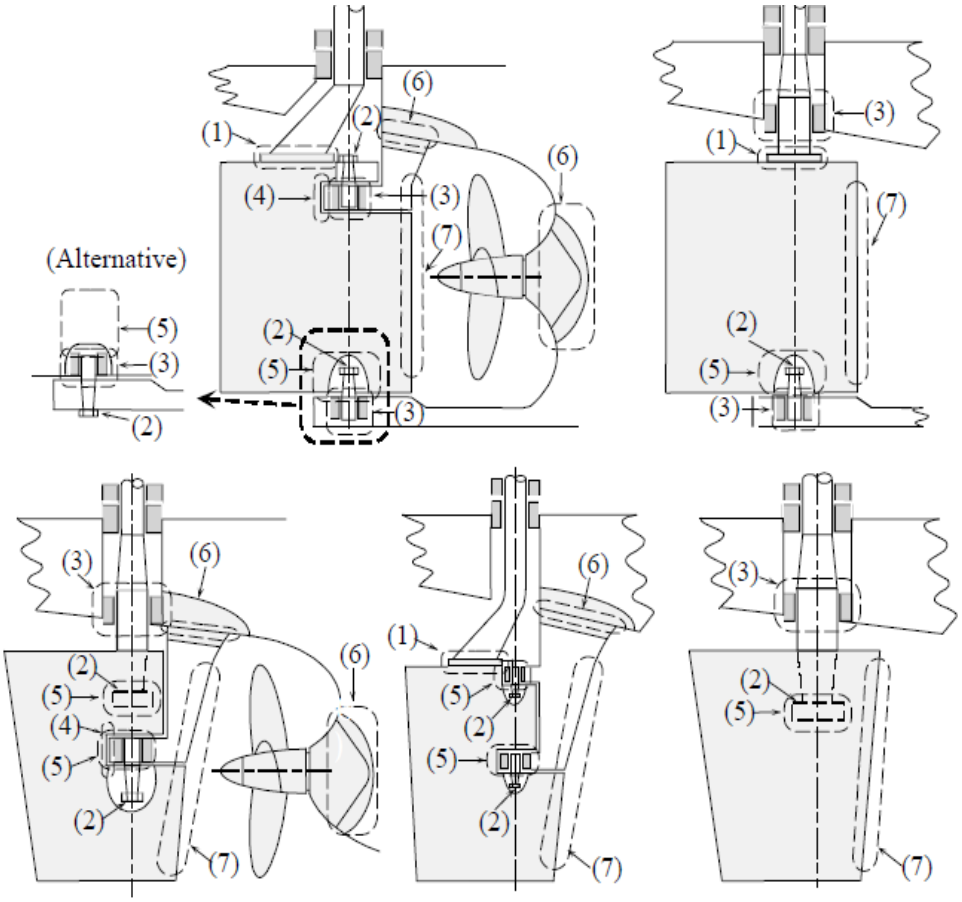
Nomenclature

(00)Rudder carrier (01)Rudder trunk (10)Rudder stock (11)Carrier bearing
(12)Neck bearing (13)Horizontal coupling(Flange coupling) (14)Cone coupling
(20)Rudder blade (21)Upper pintle (22)Upper pintle bearing
(30)Rudder horn (31)Horn pintle (32)Horn pintle bearing
(40)Sole piece (41)Bottom pintle (42)Bottom pintle bearing
(50)Bush (51)Sleeve(Liner)
(60)Propeller boss(Stern tube casting) (70)Propeller shaft bracket(Tail shaft strut)

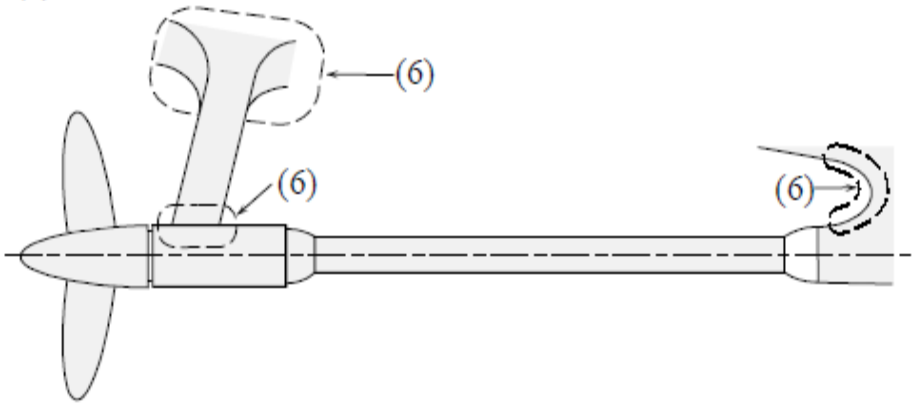


(d) Twin propellers support arrangement

الشكل(11) **تسمية إطار المؤخرة وترتيب الدفة ودعم عمود المروحة[12،13].**


(Alternative)
(1)
(2)
(3)
(4)
(5)
(6)
(7)

Damage to look for:
(1)Fractures and loose coupling bolts
(2)Loose nut
(3)Wear(excessive bearing clearance)
(4)Fractures in way of pintle cutout
(5)Fractures in way of removable access plate
(6)Fractures
(7)Erosion



الشكل(12) **الاماكن المتوقع حدوث الانهيارات بها[12،13].**

5- الاستنتاجات

من أهم النتائج التي تم التوصل إليها من خلال الدراسة التحليلية للانهيارات الإنشائية لبدن السفينة ومن ثم تقديم التوصيات اللازمة لدراسة الانهيارات الإنشائية لها.

1. إن المشقة التي تتحملها السفن خلال عمرها التشغيلي بسبب عمليات تحميل وتفريغ البضائع ونوع الشحنات المقترنة بالأحمال والضغوط التي تسببها البيئة البحرية تجعل هيكل بدن هذه السفن عرضة لتطور العيوب الهيكلية التي تتطلب التخطيط الجيد والتفتيش التفصيلي .
2. إن الأبعاد الكبيرة لهياكل بدن السفن المختلفة ، ومخاطر وصعوبات الوصول إلى العناصر المختلفة ، والضغط التجاري في العمليات البحرية والوقت القصير جدًا المخصص يجعل فحص البدن على متن السفن أمرًا صعبًا للغاية.

3. تمثلت الانهيارات الإنشائية ببدن ناقلات البضائع الصب في جزء الدراسة وهو النهاية الأمامية والخلفية يمكن تصنيف جميع الانهيارات الإنشائية المتوقع حدوثها في منطقة النهاية الأمامية والخلفية تقتصر على الكسور والتشوهات حيث إن الكسور هي أكثر الانهيارات الإنشائية المتوقع حدوثها على السفينة وذلك بنسبة حوالى 80% من مجموع الانهيارات الإنشائية المتوقعة بينما تعد التشوهات هي أقل الانهيارات الإنشائية المتوقع حدوثها وذلك بنسبة 20% فقط.
4. ويمكن تصنيف الأماكن الأكثر عرضة لحدوث الانهيارات الانشائية بها من النتائج التي تم الوصول إليها في هذا الجزء من السفينة حيث إن منطقة النهاية الأمامية أكثر عرضة لحدوث الانهيارات الإنشائية حيث إنها تتعرض إلى أحمال كبيرة بنسبة تصل الى 60% بينما منطقة النهاية الخلفية أقل عرضة بنسبة 40%

6- التوصيات

1. لزيادة عمر السفينة والتقليل من المخاطر التي قد يتعرض لها بدن السفينة يتطلب الكشف المبكر عن الانهيارات الإنشائية في المناطق المختلفة من بدن السفينة والتي تتمثل في الكسور والتآكل والتشوه والالتواء .
2. الرفع من مستوى المعاينة بهدف تحديد أماكن الضعف المتوقع حدوث انهيارات بها لتعزيز معايير السلامة البحرية وحماية البيئة والسواحل البحرية
3. الاهتمام بمجال المعاينات لبدن السفينة وتطبيق نظام رقابة دولة الميناء وقواعد واتفاقيات الصادرة عن المنظمات الاقليمية والدولية.
4. تأهيل وتدريب كوادر خاصة للقيام بالمعاينات الفنية لبدن السفينة ودراسة الانهيارات الإنشائية وفق متطلبات الهيئات الدولية والاقليمية والاتفاقيات المنظمة لعملية المعاينة.
5. يجب الاهتمام بهيكل بدن السفينة حيث يكون الهيكل عرضة للعديد من العيوب. كانت معظم العيوب التي تم العثور عليها على متن السفن مرتبطة بالتآكل والكسور في الأجزاء المختلفة من الهيكل
6. تطبيق اللوائح الجديدة التي تم سنها في العامين الماضيين والتي من شأنها تحسين ظروف السفن عندما تتقدم في العمر ، وخاصة متطلبات تطبيق الطلاء الواقي على النهاية

الأمامية والخلفية وحاملات البضائع أثناء البناء الجديد والتطبيق الأفضل عمليات التفتيش المنتظمة .

7. من أجل مساعدة الباحث في تصور أفضل للعيوب / الأضرار الأكثر شيوعًا الموجودة على وجه التحديد في سفن ناقلات البضائع الصب ومناطق التي تأخذ اكثر لاهتمامهم ، اقتصر البحث على منطقة النهاية الأمامية والخلفية تم تضمين الصور والرسم الذي يوضح مناطق الاهتمام ونوع العيوب في هذا البحث. تم جمع مناطق القلق والعيوب هذه من مراجعة تاريخ المسح لسفن مختلفة مصنفة بواسطة هيئات الاشراف.

المراجع

[1] أبو زيد, وسام حسن محمد (2009) ، المعاينة الإنشائية لبدن السفن بالتطبيق على ناقلات البترول ذات البدن المزدوج ، رسالة مقدمة للأكاديمية العربية للعلوم والتكنولوجيا والنقل البحري لاستكمال متطلبات نيل درجة الماجستير في تكنولوجيا النقل البحري، تخصص معاينات الهندسة البحرية.

[2] Goh, L.-B. a, (2014). A way forward for ship classification and technical services.. The Asian Journal of Shipping and Logistics, 30(1), 51-74), available

[3] Beghin, D. (2006). Fatigue of ship structural details. Society of Naval Architecture and Marine Engineers (SNAME).

[4] Abramowicz, W., & Simonsen, B. C. (2003). Effect of Fracture on Crushing of Ship Structures. Journal of Ship Research, 47(03), 194–207.

[5] Graham, Philip; Seltmann, Astrid; Lange, L. (2020). IUMI's 2020 analysis of the global marine insurance market. 1–42.

[6] ABS. (2014). Guide for Hull Inspection and Maintenance Program. Standardization, 2016(July).

[7] ASM. (1996). Fatigue and Fracture Handbook. Issc.

[8] Babu, P. K. S., Mathiazhagan, A., & Nandakumar, C. G. (2014). Corrosion Health Monitoring System for Steel Ship Structures. International Journal of Environmental Science and Development, 5(5), 491–495. https://doi.org/10.7763/ijesd.2014.v5.533.

[9] Moan, T., & Song, R. (2000). Implications of Inspection Updating on System Fatigue Reliability of Offshore Structures. Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering-Transactions of The Asme - J OFFSHORE MECH ARCTIC ENG, 122.

[10] Caridis, P. A. (2009). Inspection, Repair and Maintenance of Ship Structures. Witherby Seamanship International.

[11] Gan, J., Gao, Z., Wang, Y., Wang, Z., & Wu, W. (2021). Small–Scale Experimental Investigation of Fatigue Performance Improvement of Ship Hatch Corner with Shot Peening Treatments by Considering Residual Stress Relaxation.

[12] Gan, J., Sun, D., Deng, H., Wang, Z., Wang, X., Yao, L., & Wu, W. (2021). Fatigue characteristic of designed t-type specimen under two-step repeating variable amplitude load with low-amplitude load below the fatigue limit. Journal of Marine Science and Engineering,

[13] Lotsberg, I., Sigurdsson, G., Fjeldstad, A., & Moan, T. (2016). Probabilistic methods for planning of inspection for fatigue cracks in offshore structures. Marine Structures, 46, 167–192.

[14] Mahmoud, H. N., & Dexter, R. J. (2005). Propagation rate of large cracks instiffened panels under tension loading. Marine Structures, 18(3), 265–288.