

Effect Of Oil Tankers Subdivision On Damage Stability

Dr. Michel Barbahan*
Basel Ibrahim**

(Received 20 / 3 / 2024. Accepted 18 / 7 / 2024)

□ ABSTRACT □

This research aims to investigate the impact of oil tankers' subdivision on damage stability in potential damage scenarios, utilizing the MAXSURF software. The calibration was performed by comparing the mathematical solution outputs with those obtained from the MAXSURF software. Such a calibration was conducted considering the stability of a damaged box-shaped ship using Rhinoceros. The stability of the oil tanker under damaged conditions is then studied. The ship's hull was designed using Rhinoceros software, and the tank configurations were defined to create two distinct design models. Subsequently, stability analyses were conducted using MAXSURF, considering various assumed damage scenarios. Finally, the results are discussed and the subdivision is evaluated based on the safety levels it achieves when damage occurs. This evaluation was primarily based on hydrostatic calculations and the characteristic values derived from the righting lever curves (GZ).

Keywords: Damage stability, tankers, righting lever, Gz curve, ship stability, Maxsurf.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Prof. Marine Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. Email: dr.michelyouzeffbarbahan@tishreen.edu.sy

** Master Student, Department of Marine Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. Email: Eng.baselibrahem606@gmail.com

تأثير التقسيم القطاعي الداخلي لناقلات النفط على الأمان التوازني بحالة العطب

د. ميشيل بربهان*

باسل ابراهيم**

(تاريخ الإيداع 20 / 3 / 2024. قُبل للنشر في 18 / 7 / 2024)

□ ملخص □

يهدف هذا البحث الى دراسة تأثير تغيير التقسيم القطاعي الداخلي لناقلات النفط على الأمان التوازني عند حالات العطب المحتملة وذلك باستخدام برنامج MAXSURF. تم اجراء معايرة وذلك من خلال مقارنة نتائج الحل الرياضي مع النتائج التي يعطيها برنامج MAXSURF عند دراسة الاتزان لعبارة صندوقية معطوبة، وبعدها تم دراسة الاتزان لناقله نطف في حالة العطب. حيث تم تصميم بدن السفينة باستخدام Rhinoceros ومن ثم تعريف الخزانات وتقديم نموذجين للتصميم، ثم دراسة الاتزان وفق حالات العطب المفترضة وذلك باستخدام MAXSURF. في النهاية تمت مناقشة النتائج وتقييم التقسيم القطاعي بناء على درجة الأمان التي يحققها النموذج عند حدوث عطب ما وذلك من خلال نتائج الحسابات الهيدروستاتيكية والقيم المميزة لمنحني أذرع عزوم الاستبدال.

الكلمات المفتاحية: الأمان التوازني عند العطب ، ناقلات النفط، عزم الاستبدال، منحني أذرع عزوم الاستبدال، اتزان السفن، MAXSURF.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* أستاذ - قسم الهندسة البحرية- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

dr.michelyouzeffbarbahan@tishreen.edu.sy

** طالب ماجستير - قسم الهندسة البحرية- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Eng.baselibrahem606@gmail.com

مقدمة:

لقد كان اتزان السفن وسلامتها الشغل الشاغل لمصممي السفن ومهندسي البناء. إذ يعدُّ اتزان السفينة أهم عنصر يتحدد على أساسه نجاح التصميم ومن ثم التشغيل في المستقبل أثناء فترة خدمة السفينة. ومنذ أمد بعيد حتى وقتنا الحالي مازال مصممو السفن يبحثون عن العديد من الحلول لمشاكل الاتزان التي تصادفهم أثناء تطويرهم لأنواع السفن وابتكارهم للجديد منها. ويُعبر مفهوم أمان السفن في حالة العطب عن قدرة السفينة في البقاء طافية على سطح الماء، مع المحافظة على اتزان كاف عند تدفق الماء إلى داخل بدن السفينة نتيجة تضرر ألواح البدن. يتم تأمين هذه الميزة للسفينة من خلال تقسيم الفراغ الداخلي إلى قطاعات معزولة بعضها عن بعض، بواسطة حواجز أو قواطع مانعة لتسرب الماء بالإضافة إلى سطح التقسيم العلوي للسفينة. يتضمن علم أمان السفينة في حالة الغرق دراسة مسألتين أساسيتين:

1- اتزان السفينة في حالة العطب.

2- طفو السفينة في حالة العطب.

تهتم المسألة الأولى بتحديد وضعية التوازن، وتقييم اتزان السفينة بعد غرق قطاع أو مجموعة قطاعات كتيمة لتسرب الماء من أجل تقسيم قطاعي فراغي خاص بالسفينة المعتبرة. إذا تهتم هذه المسألة بتحديد:

A- وضعية اتزان السفينة، أي زاوية الميلان العرضي ϕ ، وزاوية الميلان الطولي للسفينة θ ، بالإضافة إلى غاطس المقدمة T_D وغطاس المؤخرة T_R في المرحلة النهائية لغرق مجموعة من القطاعات.

B- احتياطي اتزان السفينة أثناء غرق مجموعة من القطاعات وأيضاً في المرحلة النهائية للغرق.

تهتم المسألة الثانية بتحديد عدد القواطع والأسطح الكتيمة لتسرب الماء وأماكن توزيعها. أي تحديد التقسيم القطاعي الفراغي الداخلي للسفينة المصممة بهدف تحديد ما يسمى بالطول القابل للغمر، أي الطول أو المسافة الأعظمية بين القواطع المتتالية بحيث تبقى السفينة طافية على سطح الماء بعد غرق قطاع أو مجموعة من القطاعات.

يرتبط الاتزان في حالة العطب بخصائص الاتزان للسفينة المتضررة، في اتفاقية SOLAS يعرف العطب على أنه "المدى الثلاثي الأبعاد للخرق الحاصل في السفينة". بعد العطب واحد أو أكثر من الخزانات أو الحجرات قد يمتلئ بالماء وذلك بحسب موقع العطب، أبعاد العطب والتقسيم القطاعي المقاوم للماء. ويتم تعريف الحجرة في السفينة وفق SOLAS أيضاً بأنها "مساحة على متن السفينة بحدود مانعة لتسرب المياه" كما تعرف المساحة space في السفينة على أنها "مزيج من الغرف"، والغرفة هي جزء من السفينة محدود بقواطع وأسطح ذات نفاذية محددة. والمقصورة معرضة للعطب أو الفيضان نتيجة التفرغ عندما تكون مملوءة بالماء، ويمكن أن يتحرك الماء بحرية داخل وخارج الحجرة.

يملك أمان السفن في الواقع خاصية عشوائية وبالتالي أفضل معيار لهذا الأمان هو الاحتمال الشرطي للاستمرار بعد حوادث أو حالات غير مرغوب بها. يعتبر ذلك أفضل معيار لأمان السفن ولكن بشرط وجود إمكانية لحسابه. والجدير بالذكر أن الفكرة الاحتمالية لمعايرة امان السفن في حالة العطب هي أكثر نوعية ودقة بالمقارنة مع الفكرة التحديدية [2]. وفقاً للفكرة التحديدية فإن معيار أمان السفن في حالة العطب هو عدد القطاعات الكتيمة لتسرب الماء من السفينة التي لن يسبب غمرها المتزامن في أي مكان من البدن بغرق السفينة. في هذه الحالة تقسم السفن إلى أربع مجموعات وهي السفن غير الآمنة بعد العطب، السفن التي تمتلك امان في حالة العطب احادي / ثنائي أو ثلاثي القطاع. وبالتالي على سبيل المثال تتحمل السفينة التي تمتلك أمان في حالة العطب ثنائي القطاع غرق قطاعين متجاورين اختياريين في

جميع حالات التحميل الموثقة أثناء استثمار السفينة. أما السفينة الغير امنة فهي لا تتحمل على الأقل غمر او غرق قطاع وحيد. ان هذه الطريقة في التصنيف لا تعتبر دقيقة، لان السفينة التي لا تتحمل غمر قطاع من عدة قطاعات تصنف كالسفينة التي لا تتحمل غمر أي قطاع من قطاعاته. وعلى أية حال هناك شعورا بديهيًا بان السفينة الأولى أكثر أمانًا من السفينة الثانية في حالة العطب. أيضا في حالة غمر قطاع محدد أو مجموعة من القطاعات لا يمكن تجنب الخاصية العشوائية لأمان السفن في حالة العطب، لان حالة السفينة عند التصادم وأيضا في المرحلة النهائية من الغمر وأيضا حالة البحر عند التصادم هي عبارة عن مقادير عشوائية. من هنا نستنتج أن أفضل معيار لأمان السفن في حالة العطب هو احتمال استمرار السفينة بعد العطب، أي احتمال عدم غرق وعدم انقلاب السفينة كنتيجة للعطب أو الاصطدام بسفينة أخرى. يدعى احتمال استمرار السفينة بعد العطب بمؤشر الأمان في حالة العطب وهو يمثل القاعدة الأساسية للقوانين الحديثة الخاصة بأمان السفن في حال العطب والموضوعة من قبل المنظمة البحرية الدولية IMO.

الدراسات المرجعية:

- في عام 1995 ناقش الباحث رامي حوا [1] مستوى الأمان النوعي الحقيقي للتقسيم القطاعي للناقلات ضد التلوث بالاعتماد على نظرية الاحتمالات وتحليل تأثير العوامل المختلفة على متوسط حجم التسرب النفطي، إذ إنه يمكن تحقيق عملية الحد من المخاطر المحتملة للتلوث النفطي الناجم عن الناقلات من خلال الإجراءات التشغيلية والتصميمية. كان التركيز في هذا العمل على تصميم الناقلات وتكوينات الخزانات التي يمكن استخدامها لتقليل مخاطر التلوث النفطي من الناقلات كما ناقش طريقة لتطوير مقاييس الكفاءة لتصميم الناقلات المختلفة استنادًا إلى المفهوم الاحتمالي للتسرب النفطي. حيث تم في هذه الدراسة تقييم نماذج قياسية أساسية للتقسيم القطاعي للسفن لاكتشاف طرق تقليل التسرب النفطي أثناء العطب. وبالنسبة للتصميم الأولي، تم اختيار 8 تصاميم بديلة بهدف تقييم فعاليتها.
- وفي عام 1998 قام الباحث ميشيل بريهان [2] بتقييم الاتزان بحالة العطب وفقا للفكرة الاحتمالية وذلك بالاستناد إلى ظاهرة تراكم الماء على سطح التقسيم العلوي كنتيجة للأمواج البحرية كما تمت من خلال هذا البحث و استنادا للموديل الرياضي الخاص بحساب المعاملات S, P ، صياغة برنامج بلغة (Turbo PASCAL) ويعمل بشكل مشترك مع برنامج مخصص لحساب اتزان السفينة في حالة لعطب (منحنيات G_Z) وتم إجراء تدقيق للبرنامج في حالة عبارة صندوقية الشكل، ثم استخدم بعد ذلك لتقييم أمان السفن بالنسبة لناقلات نפט استنادا للقوانين الجديدة الخاصة بأمان السفن في حالة العطب.
- استطاع كل من MarieLützenRikardTörnqvistBoCerup-Simonsen, [3] في عام 2008 تقديم طريقة مبسطة للتنبؤ بأضرار الارتطام بالقاع وتطبيقها في المتطلبات الحديثة للاتزان في حالة العطب. بالإضافة الى التحليلات والنتائج التي تهدف إلى تطوير متطلبات الاتزان في حالة العطب والتي تأخذ في الاعتبار قابلية التأثر الهيكلي للارتطام الأرضي، أي الطاقة الحركية المتاحة لتوليد الضرر والمقاومة الهيكلية وقدم الباحثون أيضا تحليلاً لإحصائيات العطب الجديدة من أجل تحديد سيناريوهات التأثير، لا سيما من حيث سرعة التأثير وموقع التأثير وعرض العطب وارتفاعه. علاوة على ذلك، تم تطوير صيغة جديدة للتنبؤ بالضرر التجريبي بناءً على مجموعة من الاختبارات الشاملة والتحليلات الشاملة للعناصر المحدودة غير الخطية، واتضح أن إحصائيات أضرار الارتطام بالقاع لجميع السفن يمكن أن تتميز بمعامل واحد وهو مؤشر (Grounding Damage Index) GDI الذي يتضمن الطاقة الحركية للسفينة ومقاومتها الهيكلية لأضرار الارتطام الارضي.

- في عام 2009 ناقش الباحثان **C TuzcuPawlowski** , [4] ائزان سفينة الدرجة في حالة العطب مع تراكم الماء على سطح السفينة. اتضح أن عزم الميلان الذي يدفع السفينة للجنوح عن زاوية الاتزان الثابتة في المياه الهادئة سببه الماء الموجود على سطح السفينة، والذي يرتفع فوق مستوى سطح البحر بفعل الحركة الديناميكية للأمواج. تمت مناقشة ثلاث طرق لحساب زاوية الميلان مع وجود الماء على سطح السفينة. نلخص من خلال البنود التالية الاستنتاجات التي قدمها الباحثان:
 - i. يمكن استخدام ثلاث طرق متطابقة نظرياً لحساب عزم الاستبدال لسفينة الدرجة المعطوبة مع تراكم الماء على سطح السفينة. ولكن من وجهة نظر رقمية تبين أن الطرق القائمة على المياه المرتفعة أكثر دقة من الطريقة المعتمدة على مجموع كمية الماء على سطح السفينة.
 - ii. تصبح السفينة غير مستقرة عندما تكون كمية المياه على السطح كافية لجعل السفينة تميل حتى نقطة ال PNR.
 - iii. في الظروف الحقيقية، تراكم الماء على سطح السفينة يكون بفعل الأمواج. لذلك، فإن تراكم الماء عند PNR هو مقياس لمقاومة السفينة للانقلاب في حالة العطب.
 - iv. يصل حجم الماء المتراكم على السطح الى قيمته العظمى عند زاوية الميلان فقط قبل الوصول الى ال - PNR.
 - v. يجب أن تتوافق حسابات الاتزان مع الحد الأدنى للاتزان، مما يعني أن السفينة المتضررة تميل حول المحور الرئيسي لعطالة سطح الماء الفعلي.
- لخص كل من **G. Zaraphonitis, A. Papanikolaou, C.Roussou, A.Kanellopoulou** [5] في عام 2013 نتائج التحقيق حول استمرار سفن ROPAX (سفن نقل الركاب والمركبات) في حالة العطب عقب حادث تصادم. تم اختيار تصميم صغير الحجم من نوع ROPAX وتم تطوير سلسلة من تعديلات التصميم، لدراسة تأثيرها على ائزان السفينة في حالة العطب، والتي تم التعبير عنها من خلال مؤشر التقسيم المحقق، وكذلك على أدائها الاقتصادي مدى الحياة، باستخدام ثلاث صيغ (لوائح) مختلفة للاتزان في حالة العطب (2009 SOLAS و GOALDS و SLF 55)، وكلها تستند إلى المفهوم الاحتمالي. الهدف النهائي من هذه الدراسة هو التحقيق في جدوى رفع المتطلبات التنظيمية الحالية بشأن المحافظة على ائزان السفينة، مع الحفاظ على التأثير الاقتصادي لتعديلات التصميم المقابلة ضمن الحدود المقبولة.
- في عام 2018 ناقش **Boris Tomić, Anton Turk, Bruno Čalić** [6] بعض الجوانب الإشكالية للاتزان في حالة العطب أن الاتفاقيات والقواعد ذات الجوانب العملية المعروضة ضمن الدراسات الادبية شحيحة جدا وكون الحاسوب مختلف في فترة اجراء الدراسة عن الفترات التي جرت فيها الدراسات الادبية السابقة قد تعطي البرامج نتائج مختلفة نسبيا. أجريت مراجعة صغيرة لمتطلبات الاتزان في حال العطب مع الأخذ بالاعتبار متطلبات الاتفاقيات الجديدة. تم إجراء تقييم الاتزان على سفينة حاويات محددة باستخدام برنامج Maxsurf لكلتا الحلتين السليمة والمعطوبة للسفينة، والبارامترات المتعلقة بالاتزان في حالة العطب تم تحديدها وتصنيفها عند تطوير سيناريوهات الضرر الحتمي والاحتمالي.
- وفي عام 2019 استخدم الباحث **W.K.Wimalsiri** [7] النهج الاحتمالي الجديد 2009 SOLAS لتقييم الاتزان في حالة العطب لسفينة بضائع عامة . تم تطبيق الطريقة على سفينة حقيقية لتقييم مستوى الامان في حالة تعرضها للعطب. كما تم التحقيق في تأثير ارتفاع مركز الجاذبية (أو GM) ونفاذية مساحات الشحن. وتم توضيح عقلانية النهج مع الأخذ في الاعتبار سيناريوهات الضرر المحتملة المختلفة والتأثير في مؤشر الأمان العام. حددت الاتفاقيات أقصى ارتفاع لمركز الثقل ليستخدم كمعيار ضمن شروط الاتزان السليم للسفينة. لكن في الواقع، تختلف قيم

KG للسفينة المحملة بشكل كبير حيث ناقش الباحث تأثير هذا التغيير في مؤشر التقسيم القطاعي ومستوى الامان في حالة عطب السفينة.

- أجرى الباحثان **K Malinowska, Deltamarin.Sp** [8] في عام 2020 مقارنة لنتائج حسابات الاتزان في حالة العطب لسفينة ركاب / درجة وفقاً للمتطلبات الواردة في اتفاقيات SOLAS و SOLAS 2020. أجريت الحسابات في NAPA software. وكان الهدف من البحث هو الاظهار الكمي لمدى أهمية زيادة معايير السلامة وفقاً لاتفاقية سولاس 2020، ومدى تأثيرها على تصميم سفن الركاب / المدحرجة.
- في عام 2021 قام الباحثان **Nam-Kyun IM, Hun CHOE** [9] بتطوير مؤشر لنموذج تقييم اتزان السفن البحرية (IMSISA) لحل المشاكل المتعلقة بتقييم الاتزان. يتكون نموذج IMSISA من وحدة حساب مؤشر الاتزان ووحدة تقييم الاتزان، في وحدة حساب مؤشر الاتزان تم استخدام عشر بارامترات للاتزان بما في ذلك GM، لتطوير هذا المؤشر الذي يتميز بقدرته على تحديد اتزان السفينة. تستخدم وحدة التقييم قيمة مؤشر الاتزان لتحديد حالة اتزان السفينة ويزود القبطان بإرشادات إدارة الاتزان. للتحقق من النموذج المقترح الأساسي، تم إجراء حسابات الاتزان لسفینتين نموذجيتين في 32 حالة تحميل. تم العثور في النموذج المقترح على أداء أفضل من الدراسة السابقة لتقييم الاتزان. من خلال تقديم نموذج IMSISA للسفن، يمكن للقبطان تقييم اتزان السفينة من الناحية الكمية وبكفاءة.
- وفي عام 2021 أيضا استطاع كل من **XiaofengSuna , YingangNib , ChunleiLiua , ZhizhouWang bYongYinae** [10] تقديم طريقة عملية لحساب اتزان السفينة في حالة العطب مباشرة من النماذج الهندسية ثلاثية الأبعاد الكاملة التي يتم فيها استخدام طريقة الاراحة الثابتة. أولاً، تم إنشاء قاعدة البيانات الحسابية عن طريق قطع النماذج ثلاثية الأبعاد للبدن والقطاعات عرضياً؛ بعد ذلك، تم اعتماد طريقة trapezoidal rule integration لحساب البيانات الحجمية للسفينة؛ بعد ذلك، يُحسب مركز ثقل الأحمال السائلة باستخدام طريقة نيوتن التكرارية؛ أخيراً، تم تحديد حالة توازن السفينة من الغاطس والميلان الطولي لزاوية ميلان معينة باستخدام طريقة خطية متتالية. تُستخدم حالات اختبار Lloyd's Register (LR) Type 1 IACS UR L5 و 2 و 3 للتحقق من الطريقة المقترحة. في كل مرحلة من مراحل برنامج الاختبار، تحقق الطريقة نتيجة عالية الدقة، وبالتالي يمكن استخدامها على ظهر السفينة لحساب الاتزان السليم واتزان العطب للسفن من خلال التطبيق المباشر لحالات العطب المبرمجة مسبقاً، خاصة بالنسبة لناقلات البضائع السائبة وناقلات النفط.

أهمية البحث وأهدافه:

- تتلخص أهداف البحث في ما يلي:
- دراسة تأثير التقسيم القطاعي الداخلي للسفينة على امانها التوازني في حالة العطب وتقييم هذا التقسيم وفق النتائج التي سيتم الحصول عليها.
- تضمين المعايير والشروط المنصوص عليها في الاتفاقات الدولية بتحديد المواصفات التصميمية للعطب Length , Breadth and Height of Damage.
- حساب أذرع عزوم الاستعداد G_z في حالة Intact Stability وفي حالة Damage Case باستخدام MAXSURF stability.
- المعايرة بالطرق الرياضية والتحليلية.

منهجية البحث:

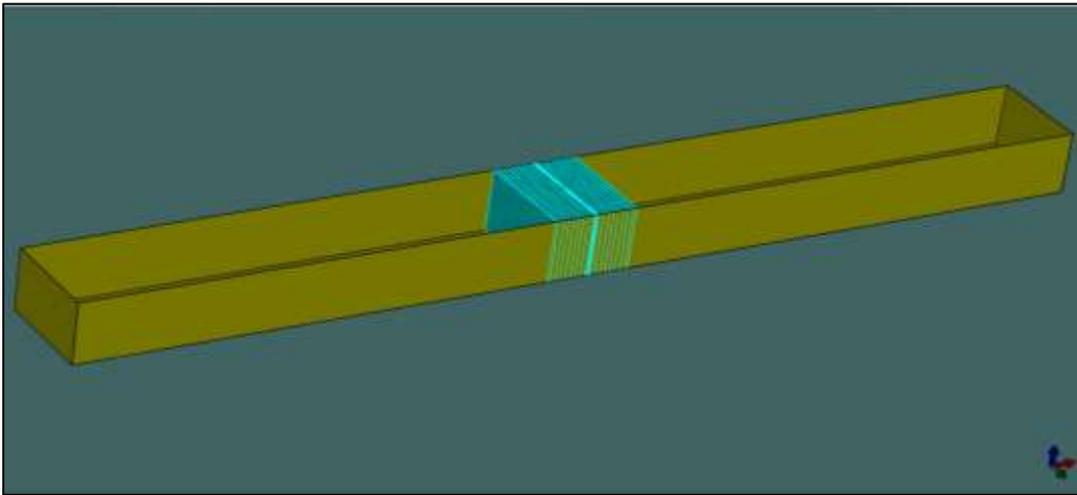
يقوم هذا البحث على منهجية تحليلية تجريبية في بيئة افتراضية حيث سيتم استخدام Rhinoceros في تصميم نموذج السفينة المدروسة. ومن ثم دراسة الاتزان عن طريق Maxsurf وفي النهاية تقييم النتائج ومناقشتها.

طرائق البحث ومواده:

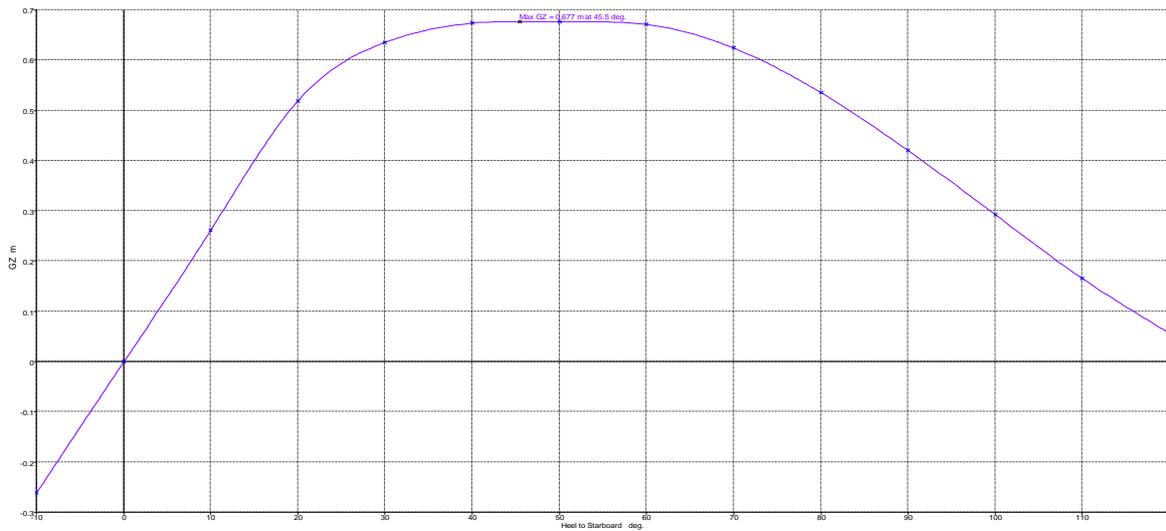
تعتمد الدراسة في هذا البحث على دراسة وتقييم الاتزان في حالة العطب للنماذج المدروسة، وذلك بالاعتماد على المنهجية الاحتمالية والمعايير المفروضة من قبل المنظمة البحرية الدولية IMO. المواد التي تم استخدامها في هذا البحث هي برنامج Rhinoceros في المرحلة الأولى للتصميم ومن ثم برنامج Maxsurf كمرحلة ثانية في التصميم. حيث أن برنامج Maxsurf يعتبر برنامج متخصص ومتكامل في مجال الهندسة البحرية وعمارة السفن ويصنف على أنه مثالي لتصميم المركبات البحرية بمختلف أصنافها ودراسة اتزانها، كما ويتضمن البرنامج قائمة واسعة وشاملة للمعايير التصميمية المفروضة من قبل المنظمة البحرية الدولية IMO والاتفاقيات الدولية مثل MARPOL و SOLAS بالإضافة إلى متطلبات هيئات التصنيف.

عملية المعايرة:

هنا نقوم بإجراء مقارنة بين برنامج Maxsurf وبرنامج تم تنفيذه باستخدام لغة البرمجة Visual Basic.net 2012 ، والهدف من هذه المقارنة هو التأكد من صحة العمل عن طريق مقارنة نتائج الحل الرياضي بالاعتماد على العلاقات الرياضية التي تم استخدامها استنادا الى الدراسات المرجعية مع النتائج التي يعطيها برنامج Maxsurf. سنقوم بدراسة اتزان عبارة صندوقية في حالة تغريق قطاع متناظر، حيث أصيبت هذه العبارة في منتصفها مما أدى الى عطب الخزان الأوسط الذي يمتد على كامل عرض السفينة وبطول 9m ، وبالنسبة الى مواصفات العبارة فهي $L=110\text{ m}$, $B=12\text{ m}$, $H=8\text{ m}$, $T=6\text{ m}$. بالنسبة للحل البرمجي: تم تصميم هذه العبارة ضمن برنامج Maxsurf وتعريف حالة العطب المفترضة كما هو موضح من خلال الشكل (1)، ثم تم اجراء الاختبارات لرسم منحني Gz كما هو مبين من خلال الشكل (2) وذلك ضمن مجال تغير زوايا ميلان تم اختياره لاجراء الدراسة [10° - 120°]

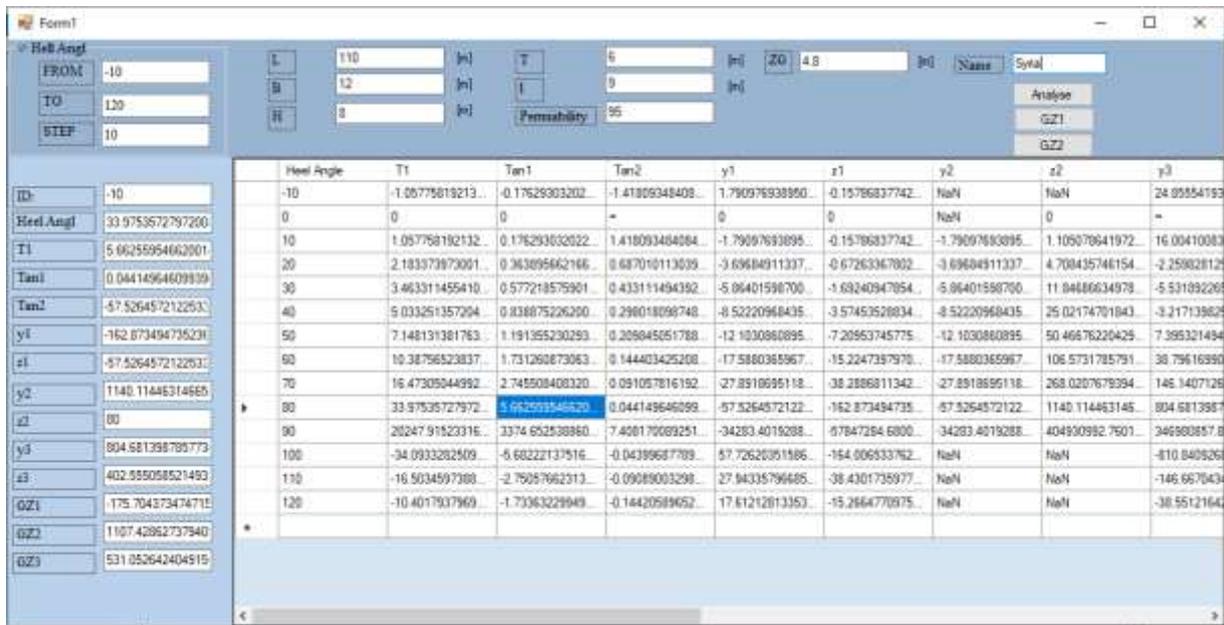


الشكل (1) العبارة الصندوقية المدروسة ضمن برنامج MAXSURF



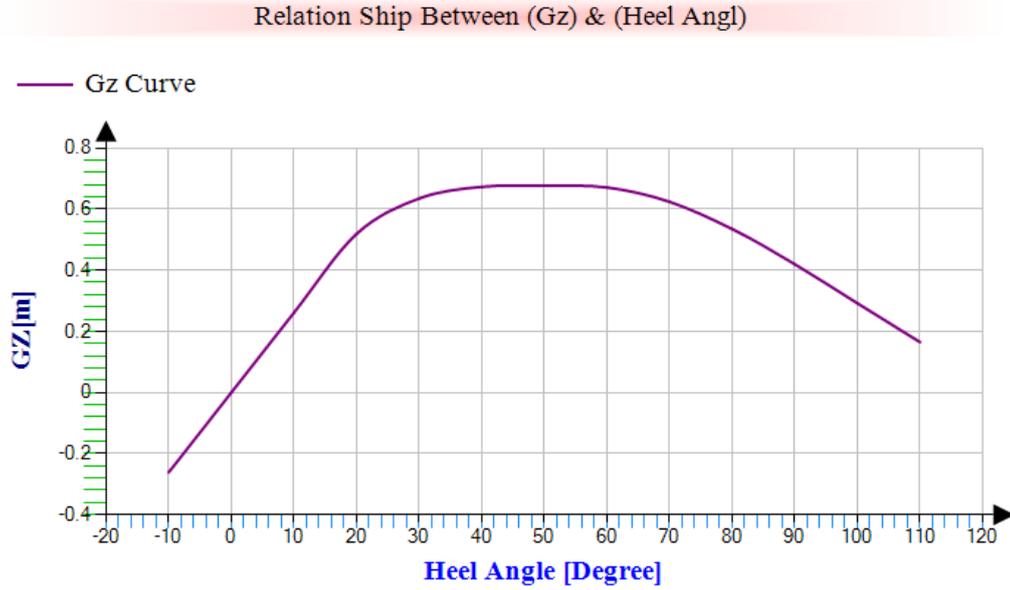
الشكل (2) منحنى GZ_1 للعبارة الصندوقية المدروسة ضمن MAXSURF

وبناء على العلاقات الرياضية الواردة ضمن الدراسات المرجعية تم كتابة برنامج بلغة Visual Basic حيث يوضح الشكل (3) واجهة البرنامج الذي تم تنفيذه



الشكل (3) واجهة البرنامج المنفذ باستخدام VB.Net

ثم تم اجراء الحسابات بواسطة البرنامج لانشاء منحنى ال Gz وتم الحصول على المنحنى الموضح من خلال الشكل (4). الخطوة الأخيرة هي اجراء المقارنة بين نتائج MAXSURF ونتائج العمل الرياضي المتمثل في البرنامج المنفذ بواسطة لغة VB.Net، حيث تم تنظيم الجدول (1) لعرض النتائج.

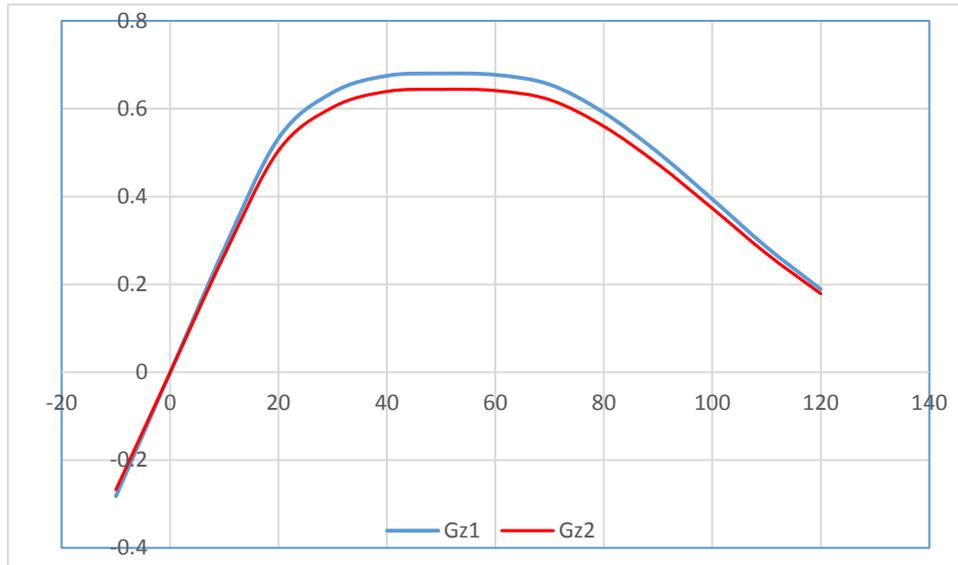


الشكل (4) منحنى Gz_2 باستخدام VB.Net

الجدول (1) نتائج المقارنة بين قيم Gz لكل من maxsurf و VB.Net

Heel [$^{\circ}$]	Gz_1 MaxSurf	Gz_2 Programing	(ZG_1-ZG_2)*100 %
-10	-0.282	-0.267054	-1%
0	0	0	0%
10	0.282	0.267054	1%
20	0.533	0.504751	3%
30	0.637	0.603239	3%
40	0.675	0.639225	4%
50	0.68	0.64396	4%
60	0.677	0.641119	4%
70	0.655	0.620285	3%
80	0.591	0.559677	3%
90	0.5	0.4735	3%
100	0.394	0.373118	2%
110	0.285	0.269895	2%
120	0.189	0.178983	1%

يبين الشكل (5) منحنيات أذرع عزوم الاستعداد المحددة تحليلياً (رياضياً) للعبارة المدروسة باستخدام طريقة الازاحة الثابتة، والمحددة باستخدام MAXSURF. نلاحظ من هذا الشكل وجود تطابق كبير بين المنحنيين من حيث قيم البارامترات الرئيسية ومن حيث سلوك المنحنيين.



الشكل (5) مخطط بياني يوضح نتائج المقارنة بين قيم Gz_1 و Gz_2

تم حساب القيمة الوسطية للخطأ النسبي المئوي لقيم Gz من خلال العلاقة التالية:

$$m = \frac{\left(\frac{ZG1 - ZG2}{ZG1} \times 100\right)_{-10} + \dots + \left(\frac{ZG1 - ZG2}{ZG1} \times 100\right)_{\phi_n}}{N}$$

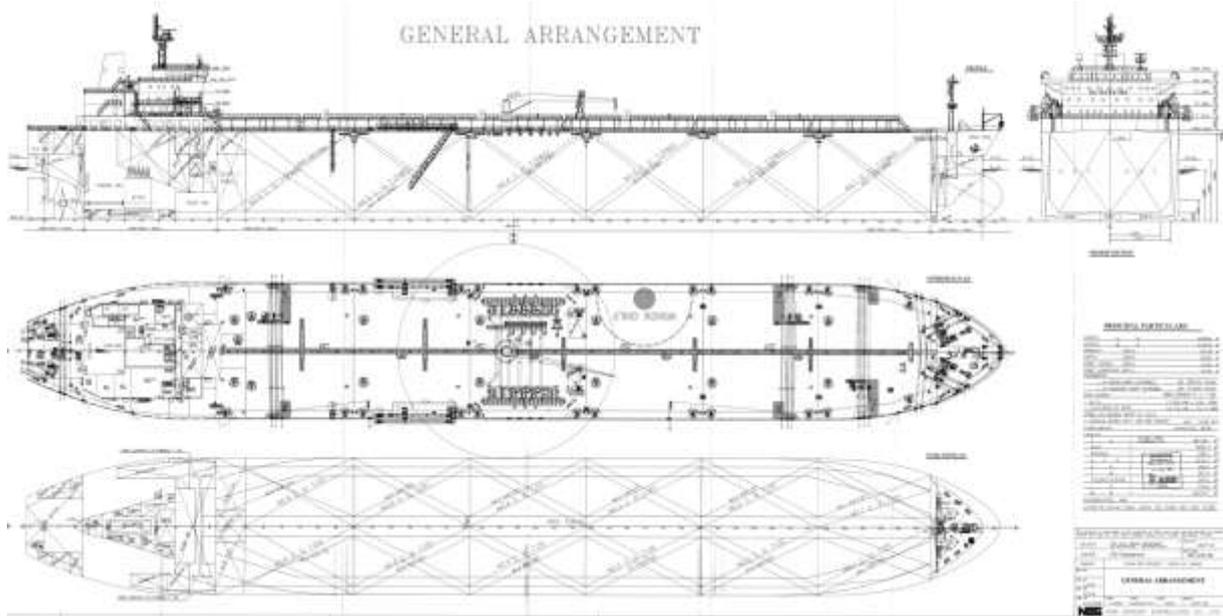
حيث إن ϕ_n : قيمة زاوية الميلان العرضي.

N : عدد زوايا الميلان على كامل مجال Gz .

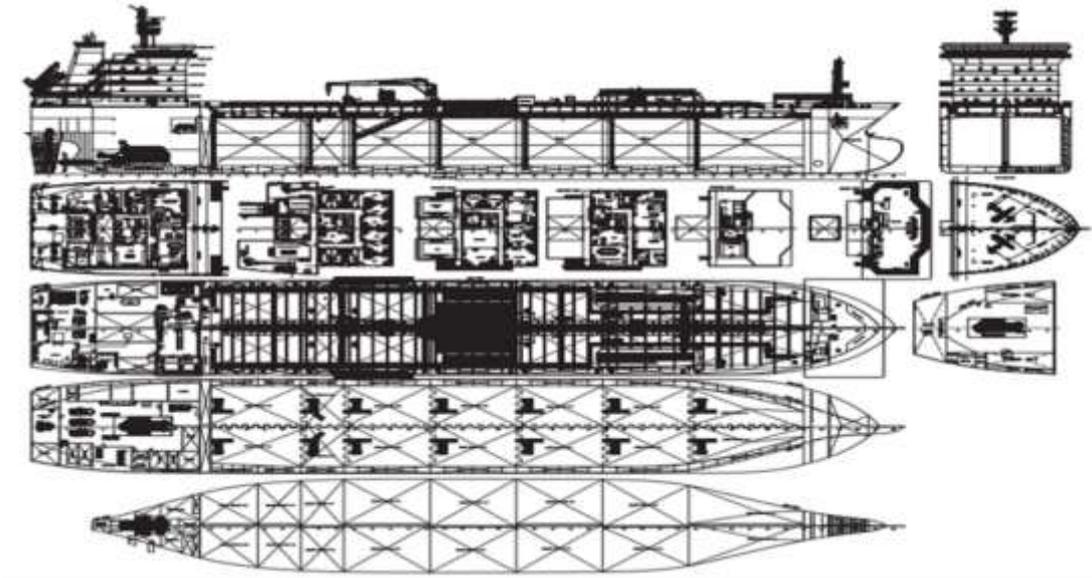
وبالتعويض نجد أن $m = 2.2857\%$

تظهر نتائج حساب القيمة الوسطية للخطأ النسبي المئوي وجود خطأ نسبي صغير جداً بالنسبة لقيم المنحنيين. تشير نتائج المعايرة أنه يمكن الاعتماد على برنامج MAXSURF عند دراسة عمليات التغيريق المختلفة لقطاعات السفينة في حالة العطب. ينبغي الإشارة الى ان استخدام نموذج العبارة الصندوقية المعطوية بالحالة المدروسة ممكنة الحل تحليلياً بدون صعوبات تذكر. وفي حال اعتماد حالات تغيريق أخرى قد تتوافق بدرفلة طولية ودرفلة عرضية يصبح التحديد التحليلي غير ممكن باستخدام العلاقات السابقة. اكتفينا بهذه الحالة لتأكيد صحة استخدام برنامج ال MAXSURF وأهميته في حالة العطب، اخذين بالاعتبار أكثر من تقسيم قطاعي لناقلة النفط المدروسة.

تصميم نماذج الدراسة : لإجراء التصميم تم الاستعانة بمخططات General arrangement لناقلات حقيفة [10] حيث يوضح الشكل (6) والشكل (7) هذه المخططات.

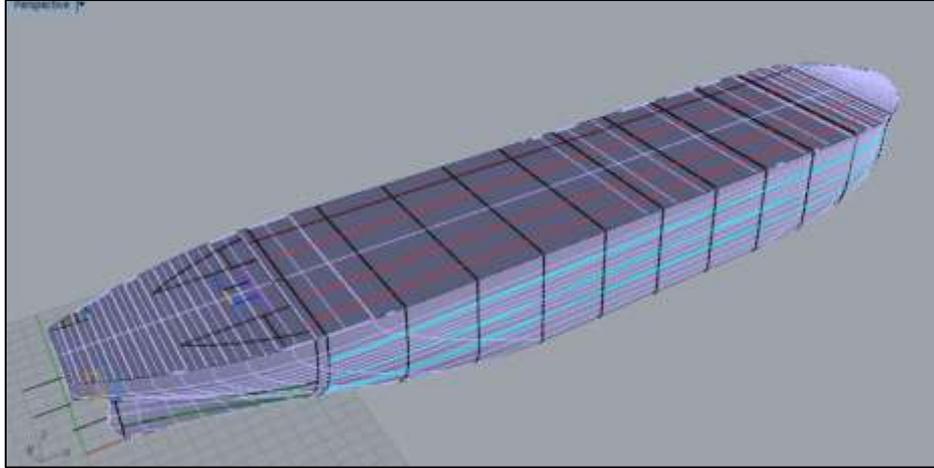


الشكل (6) General arrangement1 [10]

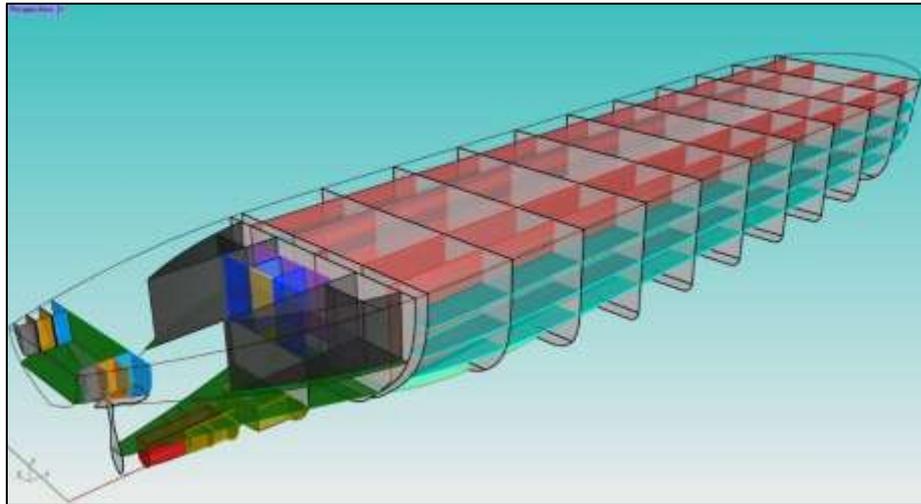


الشكل (7) General arrangement2 [10]

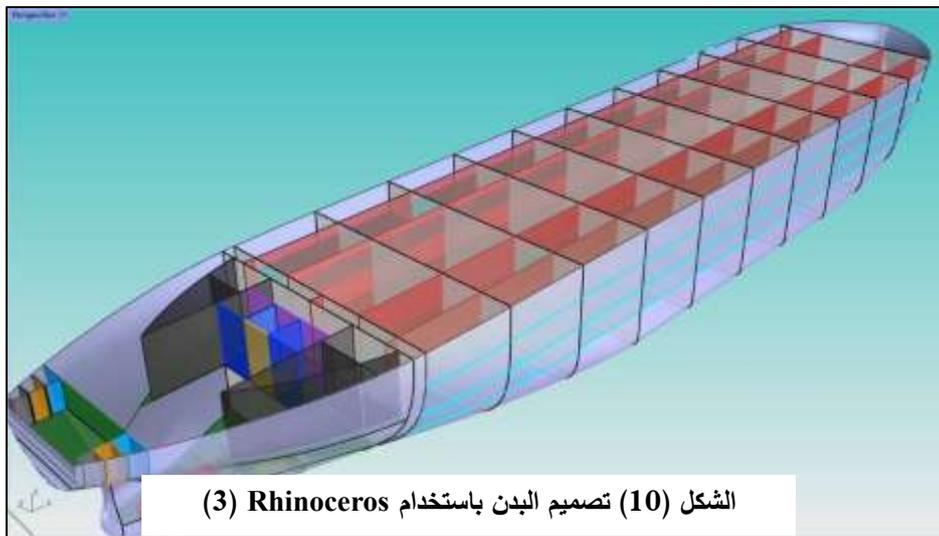
تمت الاستفادة من هذه المخططات من خلال الحصول على قيم تقريبية لطول خزان الحمولة كتابع لطول السفينة، وبناء عليه تم تصميم الناقل باستخدام برنامج Rhinoceros، كما هو موضح من خلال الأشكال (8)، (9)، (10) و (11).



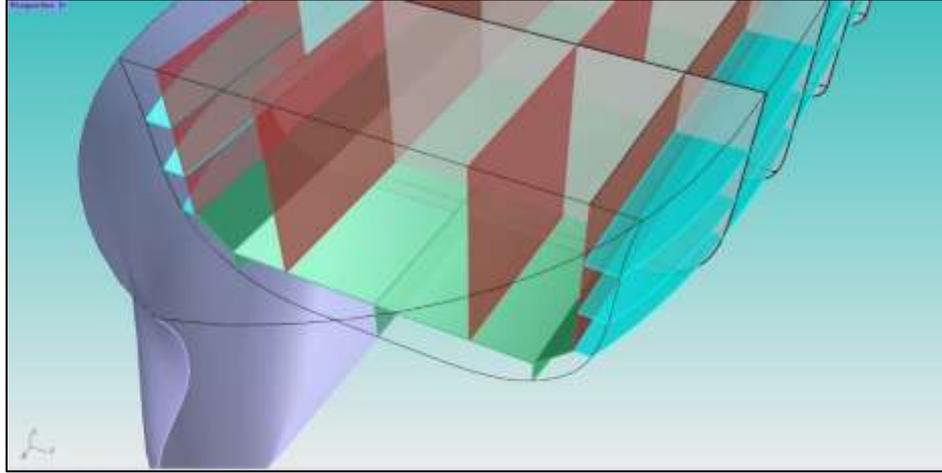
الشكل (8) تصميم البدن باستخدام Rhinoceros (1)



الشكل (9) تصميم البدن باستخدام Rhinoceros (2)



الشكل (10) تصميم البدن باستخدام Rhinoceros (3)



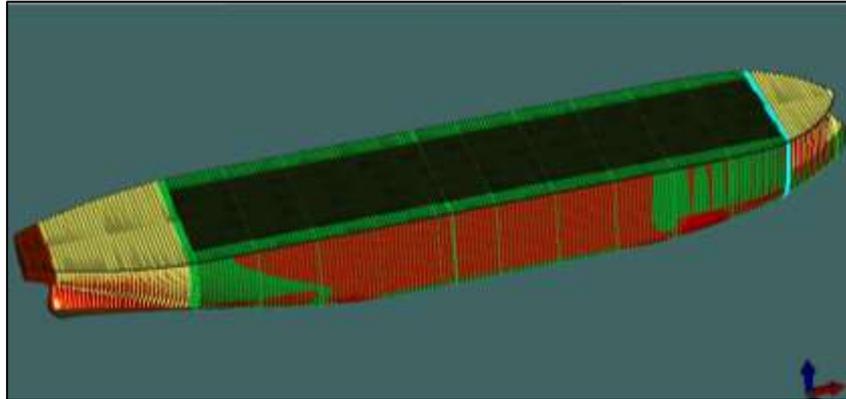
الشكل (11) تصميم البدن باستخدام Rhinoceros (4)

حيث تتمتع الناقله بالمواصفات المدرجة في الجدول (2):

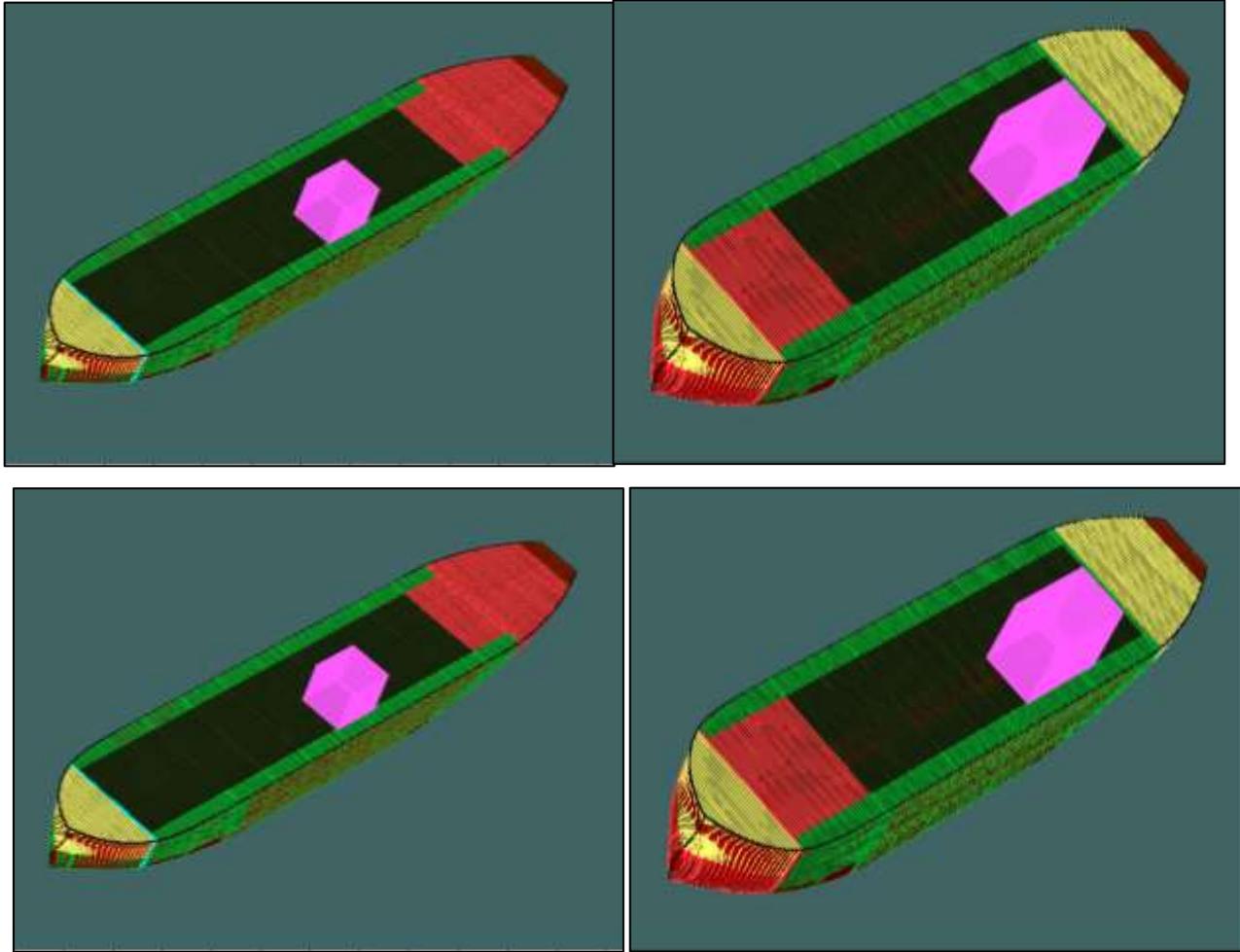
الجدول (2) مواصفات الناقله المدروسة

L [m]	B [m]	T [m]	D [m]
310.447	60	30.091	21.2

وبعد تصميم البدن تم تعريف الخزانات ضمن الناقله المدروسة باستخدام برنامج MAXSURF، كما هو مبين من خلال الشكل (12) وتقديم نموذجين للتصميم، والاختلاف بينهما هو طول خزان الحمولة مع المحافظة على شكل البدن الخارجي. أطلقنا على النموذج الأول اسم DA الشكل (13) والنموذج الثاني اسم DB الشكل (14).



الشكل (12) الناقله المدروسة ضمن برنامج MAXSURF



الشكل (14) النموذج الأول DA

الشكل (13) النموذج الثاني DB

- يتمتع النموذج DA بعدد خزانات إجمالي 119 خزان و 10 خزانات حمولة بطول 23m للخزان.
 - يتمتع النموذج DB بعدد خزانات إجمالي 84 خزان و 5 خزانات حمولة بطول 45m للخزان.
- دراسة الاتزان:

دراسة الاتزان الطبيعي **Intact stability** : في البداية وقبل دراسة العطب، يجب التحقق من نجاح التصميم وأن يكون مقبولاً ومحققاً للمعايير التصميمية المفروضة من قبل IMO والاتفاقيات المعتمدة من قبلها، حيث يتيح برنامج MAXSURF هذا الأمر من خلال Criteria list. وللتحقق من التصميم ، سنقوم بدراسته ضمن حالة الاتزان الطبيعي intact stability وذلك بالاعتماد على الكود (18) IMO A.749 الخاص بحالة الاتزان الطبيعي (دون عطب)، وبإجراء الاختبار تبين معنا ما يلي:

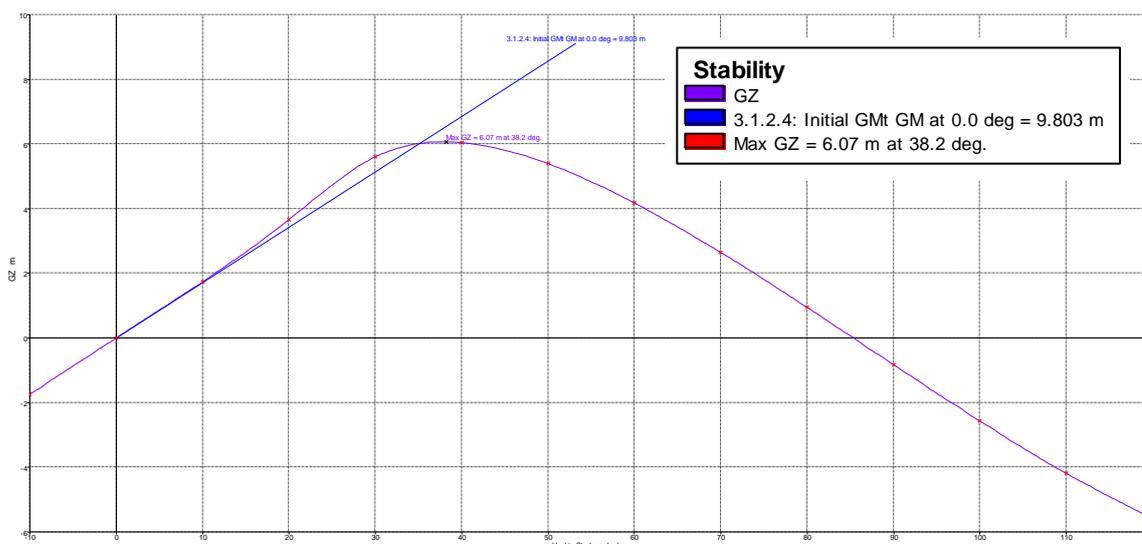
الجدول (3) نتائج الحسابات الهيدروستاتيكية في حالة الاتزان الطبيعي

Item	Unit	Value
Draft Amidships	m	17.142
Displacement	tonne	258453

Heel deg	deg	0
Draft at FP	m	15.479
Draft at AP	m	18.805
Draft at LCF	m	17.072
Trim (+ve by stern)	m	3.325
WL Length	m	312.65
Beam max extents on WL	m	60
Wetted Area	m ²	24186.73
Waterplane Area	m ²	16330.68
Prismatic coefficient. (Cp)	-	0.771
Block coeff. (Cb)	-	0.72
Max Sectional area coefficient. (Cm)	-	0.995
Waterplane area coefficient. (Cwp)	-	0.871
LCB from zero pt. (+ve fwd)	m	164.658
LCF from zero pt. (+ve fwd)	m	161.752
KB	m	8.885
KG fluid	m	16.502
BMt	m	17.421
BML	m	415.982
GMt corrected	m	9.803
GML	m	408.364
KMt	m	26.305
KML	m	424.843
Immersion (TPc)	tonne/cm	167.389
MTc	tonne.m	3399.712
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	tonne.m	44219.29
Max deck inclination deg	deg	0.6137
Trim angle (+ve by stern) deg	deg	0.6137

Item	Criteria	Units	Required	Actual	PASS / FAIL	Margin [%]
A	Area 0° - 30°	m.rad	≥ 3.150	82.4921	PASS	2517.7
B	Area 0° - 40°	m.rad	≥ 5.156	142.0135	PASS	2654.01
C	Area 30° - 40°	m.rad	≥ 1.719	59.5213	PASS	3362.76
D	Max GZ at 30 or greater	m	≥ 0.200	6.07	PASS	2935
E	Angle of maximum GZ	m.rad	≥ 25.000	38.2	PASS	52.73
F	Initial GMt	m	≥ 0	9.803	PASS	6435.33

الجدول (4) معايرة النتائج وفق متطلبات IMO بحالة الاتزان الطبيعي



الشكل (15) منحنى GZ الموافق لحالة الاتزان الطبيعي

ومن خلال النتائج السابقة الموضحة في الجدول (3) الذي يشمل الحسابات الهيدروستاتيكية، وبالنظر الى معايرة النتائج وفق متطلبات IMO المطلوبة والواردة ضمن الجدول (4) وإلى منحنى GZ الناتج والموضح من خلال الشكل (15)، نلاحظ بأن النموذج استطاع تحقيق جميع هذه المعايير. حيث إن هذه المعايير، تفرض قيماً محددة للمساحة تحت منحنى GZ ضمن مجال زوايا ميلان عرضي معين، وقيمة محددة لذراع عزم الاستعداد الأعظمي GZ_{max} عند زوايا ميلان محددة، كما تفرض قيمة محددة للزاوية الموافقة للقيمة الأعظمية لذراع عزم الاستعداد بالإضافة الى قيمة محددة أيضاً لارتفاع المتاسنتر الأولي Initial GMt، وجميع هذه القيم موضحة من خلال الجدول (4).

دراسة الاتزان في حالة العطب Damage stability:

إن النتيجة المرجوة هنا بشكل عام هي معرفة ما إذا كانت السفينة آمنة بدرجة كافية أم لا ومعرفة مدى قدرة السفينة على مقاومة الغرق، وهي تعتمد بشكل أساسي على حجم السفينة، طول وعرض وعمق السفينة المدروسة. هذه البارامترات الثلاثة مجتمعة تحدد مدى العطب الذي تتعرض له السفينة. وبشكل عام، فإن البارامترات المستخدمة في الحسابات هي نفسها لأنواع السفن المختلفة، ولكن تأثير هذه البارامترات مختلف، حيث يعتمد هذا التأثير على عدة عوامل مثل نوع السفينة، وحجم السفينة، نوع البضائع، بالإضافة الى أن مدى العطب هو الذي يعطي سيناريوهات العطب المحتملة للسفينة المدروسة والمطلوب نجاتها ضمن هذه السيناريوهات. والهدف بالطبع هو تحديد سيناريو العطب الأكثر خطورة. حيث سيتم ذلك من خلال التحقيق في جميع حالات العطب المحتملة ضمن الحدود التي يفرضها مدى العطب Damage extent ويجب أن تتوافق جميع سيناريوهات العطب مع المتطلبات المحددة والمعرفة ضمن الاتفاقيات المعتمدة من قبل المنظمة البحرية الدولية. إذا لم ترقى نتائج الحسابات الى المستوى القياسي المطلوب، فسيتم رفض السفينة من قبل سلطة العلم أو من قبل هيئات التصنيف. وقد حددت القواعد الواردة ضمن القرار **MEPC.117(52)** والمعدل على أساس اتفاقية MARPOL78 المواصفات التصميمية للعطب المفترض الذي قد يصيب السفينة [31]. نذكرها كما وردت ضمن هذا القرار:

يتم تحديد مدى العطب الطولي كتابع لطول السفينة L:

$$\text{Longitudinal damage extent} = \frac{1}{3} \left(L^{\frac{2}{3}} \right) \text{ Or } 14.5 \text{ meter, Whichever is less}$$

ويتم تحديد المدى العرضي للعطب كما يلي حيث إن B عرض السفينة:

$$\text{Transverse damage extent} = \left(\frac{B}{5} \right) \text{ Or } 11.5 \text{ meters. Whichever is less}$$

وأما بالنسبة للمدى العمودي للعطب فليس له حدود ويؤخذ على انه العمق الكلي للسفينة.

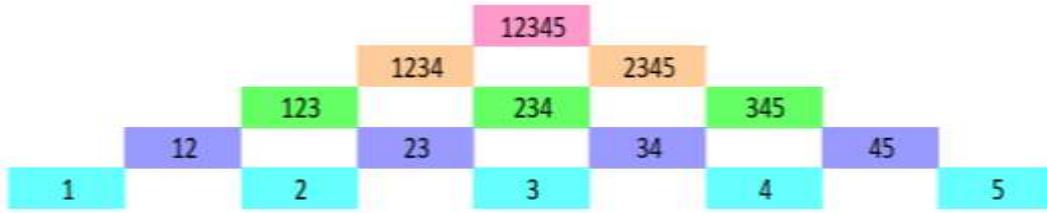
حالات العطب Damage Cases :

تم الاعتماد على المنهجية الاحتمالية في تحديد حالات العطب التي يمكن حدوثها، حيث يوضح من خلال الشكل

(16) اجمالي حالات عطب القطاعات المحتملة بالنسبة إلى النموذج DA



الشكل (16) حالات العطب المحتملة بالنسبة للنموذج DA



الشكل (17) حالات العطب المحتملة بالنسبة للنموذج DB

تمثل الحالات الموجودة ضمن الصف الأول حالات عطب أو تغريق قطاعات فردية في حين تمثل حالات الصف الثاني فما فوق حالات عطب قطاعات متجاوزة وتتزايد خطورة هذه الحالات صعوداً أي كلما زاد عدد القطاعات المشمولة بالعطب. تمت دراسة جميع الحالات المحتملة للعطب ولكن هنا سنكتفي بتوضيح حالة واحدة للعطب وهي [2345] كمثال. سيتم تنظيم جدول يتضمن مقارنة للحسابات بين النموذجين بالإضافة إلى جدول المعايير الخاص بكل نموذج ومنحني GZ الناتج. كما سيتم الاعتماد على معايير MARPOL الواردة ضمن القرار MEPC .117(52) تعديل عام 2007 ضمن قائمة Criteria List في برنامج MAXURF.

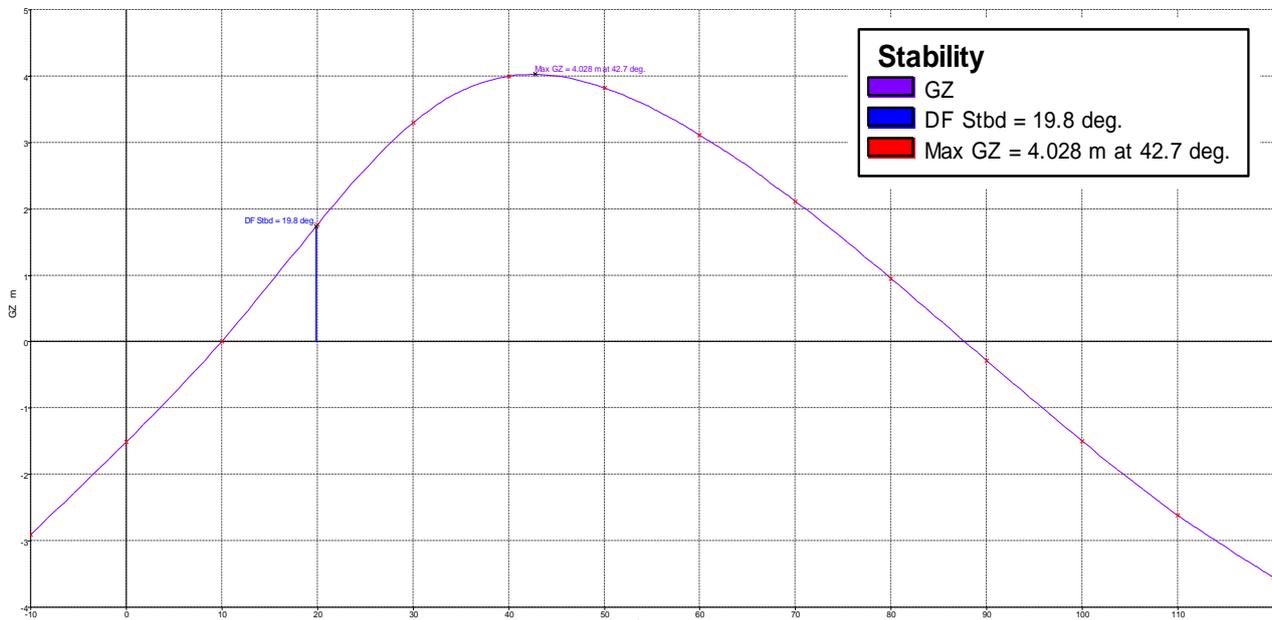
• حالة العطب [2,3,4,5]

الجدول (5) مقارنة الخصائص الهيدروستاتيكية للنموذجين DA , DB في حالة العطب رقم [2345]

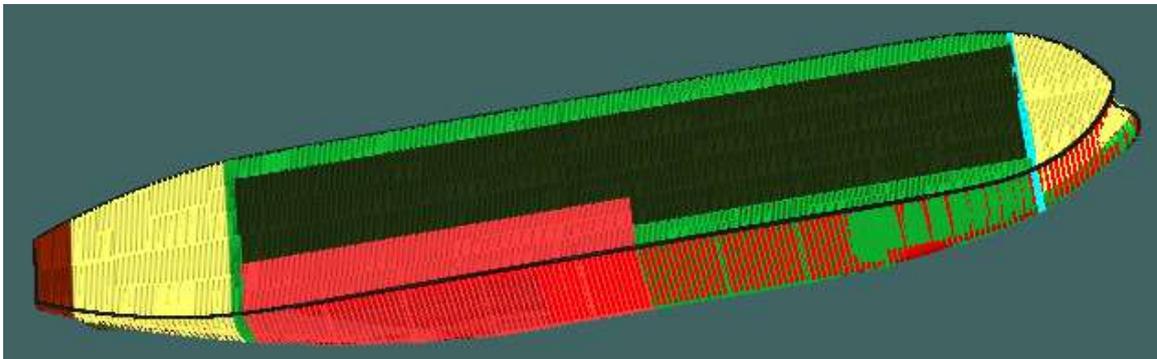
Item	Unit	Value	
		DA	DB
Draft Amidships	m	18.711	20.581
Displacement	tonne	218346	233384
Heel deg	deg	9.9	19.5
Draft at FP	m	15.599	18.493
Draft at AP	m	21.823	22.669
Draft at LCF	m	18.52	20.481
Trim (+ve by stern)	m	6.224	4.176
WL Length	m	315.832	320.361
Beam max extents on WL	m	60.909	63.644
Wetted Area	m ²	25541.66	27309.49
Waterplane Area	m ²	14844.95	13907.98
Prismatic coefficient. (Cp)	-	0.621	0.53
Block coeff. (Cb)	-	0.498	0.359
Max Sectional area coefficient. (Cm)	-	0.807	0.738
Waterplane area coefficient. (Cwp)	-	0.772	0.682
LCB from zero pt. (+ve fwd)	m	169.889	167.495
LCF from zero pt. (+ve fwd)	m	164.71	162.663
KB	m	9.841	11.013
KG fluid	m	16.337	15.788
BMt	m	15.903	14.357
BML	m	482.087	527.452
GMt corrected	m	9.308	9.289
GML	m	475.492	522.384
KMt	m	25.504	24.547
KML	m	484.645	508.225
Immersion (TPc)	tonne/cm	152.161	142.557
MTc	tonne.m	3574.589	3674.065
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	tonne.m	37912.89	35396.87
Max deck inclination deg	deg	9.9725	19.4956
Trim angle (+ve by stern) deg	deg	1.1486	0.7706

الجدول (6) معايرة النتائج وفق متطلبات MARPOL في حالة العطب رقم [2,3,4,5] للنموذج DA

Item	Value	Units	Actual	PASS / FAIL	Margin [%]
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%	50.1	Pass	49.9
28.3.2 Equi heel ≤ 25 or ≤ 30 if no DE immersion	100	%	39.76	Pass	60.24
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	1.737	Pass	1637
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	8.5127	Pass	748.98



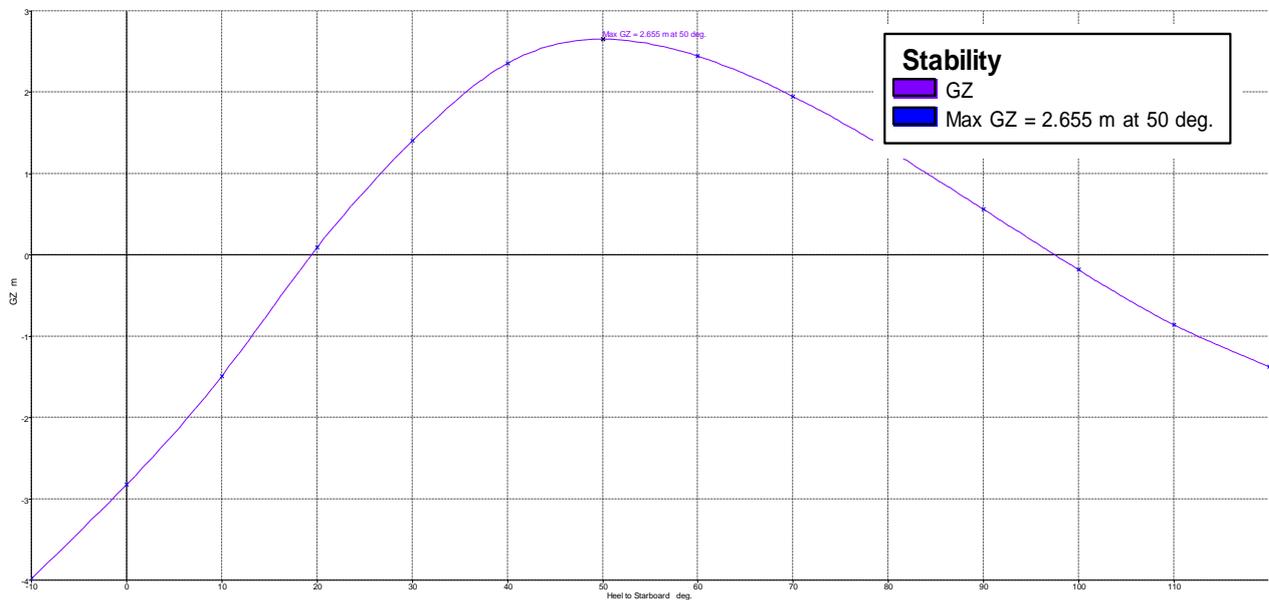
الشكل (18) منحنى Gz الموافق للنموذج DA في حالة العطب رقم [2,3,4,5]



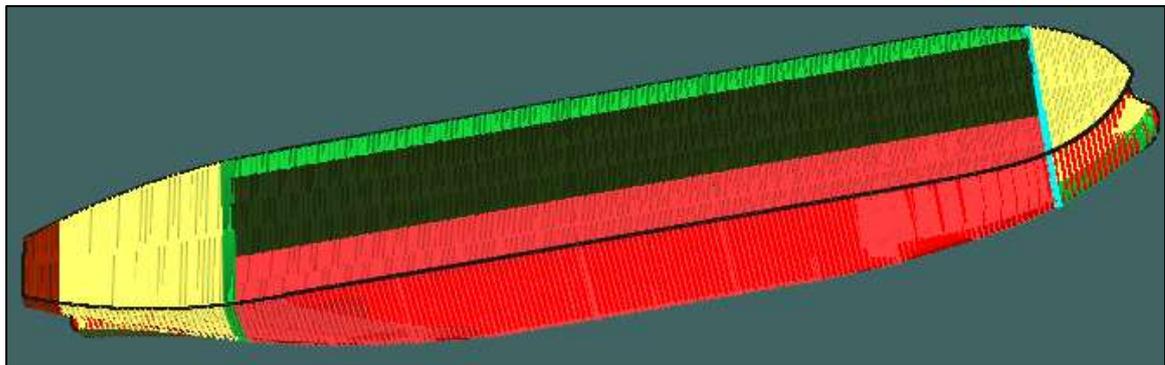
الشكل (19) حالة العطب رقم [2,3,4,5] للنموذج DA

الجدول (7) معايرة النتائج وفق متطلبات MARPOL في حالة العطب رقم [2,3,4,5] للنموذج DB

Item	Value	Units	Actual	PASS / FAIL	Margin [%]
28.3.1 Ratio of equi angle at final waterline (no DF)	100	%		FAIL	
28.3.2 Equi heel ≤ 25 or ≤ 30 if no DE immersion	100	%	77.62	Pass	22.38
28.3.3 Residual righting lever	0.1	m	2.317	Pass	2217
28.3.3 Area under GZ curve	1.0027	m.deg	25.6048	Pass	2453.58



الشكل (20) منحنى Gz الموافق للنموذج DB في حالة العطب رقم [2,3,4,5]



الشكل (21) حالة العطب رقم [2,3,4,5] للنموذج DB

الاستنتاجات والتوصيات:**الاستنتاجات:**

من خلال قراءة نتائج الحسابات السابقة وبالنظر إلى منحنيات GZ التي تم انشاؤها بناءً على حالات العطب المدروسة نلاحظ وبشكل عام أن النموذج DA يحقق شروطاً أفضل وأكثر أماناً للاتزان في وضعية الطفو النهائية بعد العطب وحدث التغريق مقارنة مع النموذج DB، وذلك بالنسبة للتالي:

- القيم المنخفضة لزوايا الميلان العرضي \emptyset عند النموذج DA مقارنة مع DB.
- القيم الكبيرة لذراع عزم الاستبدال الأعظمي Gz_{max} عند زوايا ميلان منخفضة في حالة النموذج DA مقارنة مع النموذج DB الذي يقيس قيمة أقل لذراع عزم الاستبدال الأعظمي عند زوايا ميلان أكبر، وبالتالي فإن النموذج DA يحقق قيمة مرضية لذراع عزم الاستبدال الأعظمي.
- نجاح النموذج DA في تحقيق القيمة المعيارية للنسبة المئوية لزوايا الطفو عند وضعية خط الماء النهائية في جميع الحالات.

بناء على ما سبق نستنتج ما يلي:

1. يؤثر التقسيم القطاعي الداخلي للسفينة وفقاً لنتائج حساب العطب بشكل أساسي على أمان السفينة التوازني.
2. كلما زاد طول الخزانات انخفض اتزان السفينة بتأثير FSM.
3. ازدياد قيمة زاوية الميلان العرضي كلما زاد طول خزانات الحمولة في حالة العطب مقارنة مع السفن التي يكون فيها طول الخزان أصغر.
4. كلما زاد عدد القطاعات تحسن الأمان التوازني في حالة العطب بما لا يتعارض مع الغاية الوظيفية للسفينة المدروسة.
5. يؤثر التقسيم القطاعي الداخلي على العديد من القضايا مثل تحديد موضع مركز ثقل السفينة، كلفة بناء السفينة، الغاية الوظيفية الأساسية للسفينة، الاتزان الأولي عند زوايا الميلان العرضية الصغيرة والكبيرة وخاصة بما يتعلق بتشكيل السطوح الحرة FSM كما تبين من خلال النتائج.
6. من غير الممكن التحكم في تكوين التقسيم القطاعي الداخلي بما يخدم أمان السفن بحال العطب نظراً لوجود مؤثرات أخرى ذات أهمية كبيرة.
7. أظهر البحث أهمية القواعد والمعايير التصميمية المفروضة من قبل المنظمة البحرية الدولية IMO والاتفاقيات ذات الصلة مثل SOLAS, MARPOL وغيرها، التي تم تضمينها والتقييد بها في الجزء العملي من البحث، في تأمين الحماية للبيئة البحرية من التلوث والحرص على سلامة الطواقم العاملة وسير العمل البحري بشكل عام وبالمحصلة تحقيق أقصى مستويات الأمان التوازني في حالة العطب.
8. بالعموم كلما زاد حجم السفن من حيث الأبعاد ازدادت معايير الأمان في حالة العطب نظراً للقيم الكبيرة لذراع عزم الاستبدال قبل حدوث العطب مع مراعاة التصاميم المقترحة في السنوات الأخيرة.

التوصيات:

1. تطوير العمل نحو الأخذ بالاعتبار تقسيمات قطاعية مختلفة ومعتمدة لجميع سفن ناقلات النفط.
2. تطوير العمل نحو الأخذ بالاعتبار سفن RO-RO نظراً لخطورة غمر سطح السيارات بالإضافة الى أنواع أخرى من السفن.
3. دعم العمل الحسابي والبرمجي بتصميم حوض صغير لإجراء تجربة التغريق مخبرياً.

REFERENCES

- [1] RAMI.M. HAWA. *Probabilistic approach to the assessment of tanker subdivision and some its design implication*. Technical university of GDANSK. Faculty of ocean engineering and ship technology hydrodynamic division. GDANSK 1993.
- [2] Michel Barbahan, *Probabilistic approach of evaluating damage stability of ships with water on deck*, Faculty of ocean engineering and ship technology, GDANSK 1998.
- [3] BoCerup-Simonsen, RikardTörnqvist, MarieLützen. *A simplified grounding damage prediction method and its application in modern damage stability requirements*.2008.
- [4] M Pawowski, C Tuzcu. *The stability of a damaged roll-on roll-off vessel with water on deck*.2009.
- [5] G. Zaraphonitis, A. Papanikolaou, C.Roussou, A.Kanellopoulou. *Comparative study of damage stability regulations and their impact on the design and safety of modern ROPAX ship*,2013.
- [6] Boris Tomić, Anton Turk, Bruno Čalić. *Recent Advances in Damage Stability Assessment with Application on a Container Vessel*,2018.
- [7] W.K.Wimalsiri, . *Probabilistic Approach to Assessment of Damage Survivability of Cargo Ships*,2019.
- [8] K Malinowska, Deltamarin.Sp .*Comparative study of damage stability calculation for SOLAS 2009 and SOLAS 2020 of RO-RO passenger vessel*,2020.
- [9] Nam-Kyun IM, Hun CHOE, *A quantitative methodology for evaluating the ship stability using the index for marine ship intact stability assessment model.*, international Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering ,2021.
- [10] DTSOP-General Arrangement Design (170819).