

Study the Stability of Pedestrian Floating Bridges under the Hydrodynamic Effects

Case Study (Pedestrian Bridge Between Tartus and Arwad Island)

Dr. ISSAM NASSER*
Dr. ADNAN IBRAHIM**
HASAN ALKHATIB***

(Received 28 / 2 / 2022. Accepted 15 / 5 / 2022)

□ **ABSTRACT** □

The forces supporting the pontoon bridge in the vertical direction are the buoyant forces, while the mooring system (cables) or the shape of the bridge works to connect the bridge in the horizontal direction. The primary loads acting on a pontoon bridge are wind and wave loads of random effect whose exact value and direction of correct loading of the bridge is difficult to estimate. The bridge's response can be known through its mass, its stiffness to bending and rotational accelerations, and the stiffness of the pontoon connections if separate pontoons are used. The research aims to conduct a general review of the existing floating bridges, to then choose a specific model for a floating bridge linking the city of Tartous and Arwad Island, and to clarify the modeling and arithmetic procedures for a single raft under the influence of a self-weight load and a live load. Metal based on two rafts with different spacings (30m-40m-50m) and showing stability under the influence of wave load and calculating longitudinal and transverse rotational accelerations, which is an important criterion for the comfort and safety of bridge users. The results showed the stability and stability of the raft under the influence of its own weight load, pedestrian load and a wave load with a height of 2 meters at the lanes (30m-40m-50m), as well as the stability and stability of the metallic beam, but when the span is increased to more than 65m, the metal bridge located above the two rafts will collapse.

Keywords: Floating bridges ;Pontoons;Concrete;Stability;Waves.

* Professor, Department Of Structural Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.
issamalinasser@tishreen.edu.sy

** Professor, Department Of Water Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.
adnanibrahim@tishreen.edu.sy

*** Master Degree student , Department Of Structural Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.hasanalkhatib977@gmail.com.

دراسة استقرار جسور المشاة البيتونية العائمة تحت تأثير الحمولات الهدروديناميكية حالة الدراسة (جسر مشاة عائم بين مدينة طرطوس وجزيرة أرواد)

د. عصام ناصر*

د. عدنان ابراهيم**

حسن الخطيب***

(تاريخ الإيداع 28 / 2 / 2022. قُبِلَ للنشر في 15 / 5 / 2022)

□ ملخص □

إن القوى الداعمة للجسر العائم في الاتجاه الشاقولي هي قوى الطفو بينما يعمل نظام الإرساء (الكابلات) أو شكل الجسر على ربط الجسر في الاتجاه الأفقي .
الحمولات الأساسية المؤثرة على الجسر العائم هي حمولات الرياح والأمواج ذات التأثير العشوائي والتي يصعب تقدير قيمتها الدقيقة واتجاه التحميل الصحيح للجسر .
يمكن معرفة استجابة الجسر من خلال كتلته وصلابته على الانعطاف والتسارعات الدورانية وصلابة وصلات الطوافة في حال استعمال طوافات منفصلة .
يهدف البحث إلى إجراء مراجعة عامة للجسور العائمة الموجودة ليتم بعدها اختيار نموذج محدد لجسر عائم يصل بين مدينة طرطوس وجزيرة أرواد وتوضيح النمذجة والإجراءات الحسابية لطوافة واحدة تحت تأثير حمولة الوزن الذاتي وحمولة حية وليجرى بعدها بناء نموذج مبسط عن النموذج الكلي للجسر ممثلاً بمجاز واحد مكون من جائز معدني يستند على طوافتين بتباعدات مختلفة (30m-40m-50m) وتبيان الاستقرار تحت تأثير حمولة الأمواج وحساب التسارعات الدورانية الطولية والعرضية التي تعتبر معيار هام لراحة وأمان مستخدمي الجسر .
أظهرت النتائج ثبات واستقرار الطوافة تحت تأثير حمولة وزنها الذاتي وحمولة المشاة وحمولة موجة بارتفاع 2متر عند المجازات (30m-40m-50m) كذلك ثبات واستقرار الجائز المعدني لكن عند زيادة المجاز الى أكثر من 65m سينهار الجسر المعدني الموجود فوق الطوافتين .

الكلمات المفتاحية: الجسور العائمة-الطوافات-بيتون-استقرار-أمواج.

* أستاذ -قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية -سورية. issamalinasser@tishreen.edu.sy

** أستاذ-قسم الهندسة المائية- كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية -سورية. adnanibrahim@tishreen.edu.sy

*** طالب دراسات عليا(ماجستير)- قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية.

hasanalkhatib977@gmail.com

مقدمة:

الجسر العائم بالتعريف هو منشأ يطفو على سطح الماء وظيفته مشابهة لأي جسر آخر وهي تأمين ممر آمن وفعال وموثوق لحركة المشاة والعربات ويستند على طوافات حيث يعتبر في هذه الحالة جائز مسنود على مساند مرنة حيث تتم فيه مقاومة الحمولات الشاقولية من خلال قوى الطفو بينما تتم مقاومة الحمولات العرضية والطولية من خلال عناصر المنشأ ونظام الكابلات [1].

توجد عدة متغيرات أثناء تصميم الجسر لكن المبدأ الأساسي والمهم هو بقاء الطوافات عائمة على سطح الماء وتأمين قوى الطفو لتحمل المنشأ والعربات من فوقه ، وبما أن الماء لا يقدم أساس صلب فلا بد من الأخذ بعين الاعتبار حركة الجسر التي يجب أن تكون مقيدة نوعاً ما إما من خلال الكابلات أو من خلال الخصائص الهندسية وخصائص المواد المصنوع منها الجسر .

يتطلب تصميم جسر آمن ومريح للمستخدمين تحليلاً لسلكه واستقراره وهذا التحليل يمكن أن ينجز بطرق عديدة أو بطريقة العناصر المنتهية (FEM) وهذا التحليل هو أكثر دقة كما أن التحليل الاستاتيكي والديناميكي له أهمية خاصة ويؤمن معلومات قيمة حول كيفية استجابة الجسر عند تطبيق حمولات مختلفة [2] .

1- ميزات الجسور العائمة:

- يعتبر وسيلة فعالة كمرر لوصل الجزر وأشباه الجزر مع بعضها بعضاً ويوفر وقت السفر وبالتالي يمكن أن تكون المنافع الاجتماعية والحضارية كبيرة [3] .
- تحسين البنية التحتية للمدن .
- يستفاد من قوى الطفو عند تصميم الجسور .
- لا حاجة لاستخدام ركائز أو أساسات .
- نظام التثبيت يجعل الجسر مستقراً بالاتجاه الطولي .

اختيار الجسور العائمة يعتمد على عدة عوامل تقنية واقتصادية والتي يمكن أن تلخص كالتالي [4]:

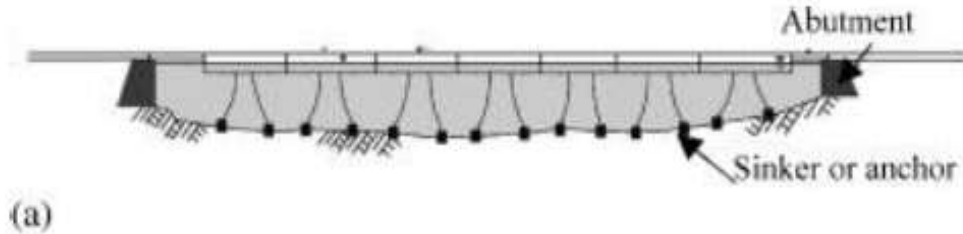
- تستخدم في المياه العميقة التي يكون فيها إنشاء أساسات ثابتة ذات كلفة عالية.
- تستخدم في القاع ذي التربة الطينية حيث لا توجد إمكانية لتثبيت الأساس أو لا توجد قدرة تحميل كافية (حالة جسر بحيرة واشنطن حيث أن قاع البحيرة مؤلف من طبقات عميقة من الطين الناعم) .
- تستخدم في الموانئ التي يكون فيها الفارق بين المد والجزر عالياً الارتفاع .
- تستخدم في المناطق الزلزالية التي يتوقع استجابة ديناميكية كبيرة للجسور الثابتة .
- تستخدم في المشاريع المؤقتة حيث لا يكون هناك حاجة للمنشأ بعد فترة من الزمن .
- تستخدم في المشاريع التي لا يتوقع فيها تغير للظروف المناخية (رياح وأمواج) .

2- أنواع الجسور العائمة تبعاً لطبيعة الاستناد:

يوجد عدة طرق لتصميم الجسور العائمة وإن اختيار التصميم المناسب لها يعتمد على الظروف البيئية لموقع الجسر (عمق المياه ، قوى الرياح ، الأمواج) لكن الموجود حالياً هو فقط الجسور العائمة المنفصلة والمستمرة بينما المفاهيم الأخرى ماتزال قيد التطوير والتصميم [4],[5],[6].

2-1 الجسور العائمة المستمرة (Continuous Pontoon Bridge)

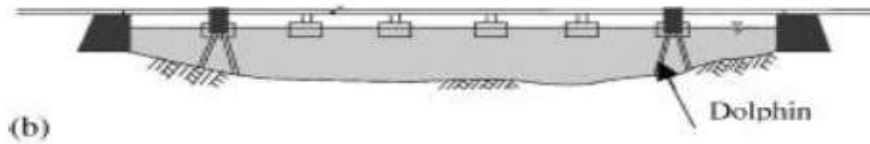
يتضمن هذا النوع من الجسور (CPB) عدد من الطوافات المتصلة مع بعضها بعضاً بشكل صلب ويمكن للعربات أن تمر فوقه مباشرة أو يمكن بناء منشأ فوقه. تكون الطوافات بأطوال متساوية أو مختلفة وذلك تبعاً للعوامل البيئية ويجب أن تكون مقيدة ومثبتة بكابلات إرساء لتكون قادرة على مقاومة القوى الأفقية كما مبين بالشكل 1 .



شكل 1 الجسور العائمة المستمرة [1]

2-2 الجسور العائمة المنفصلة (Separated Pontoon Bridge)

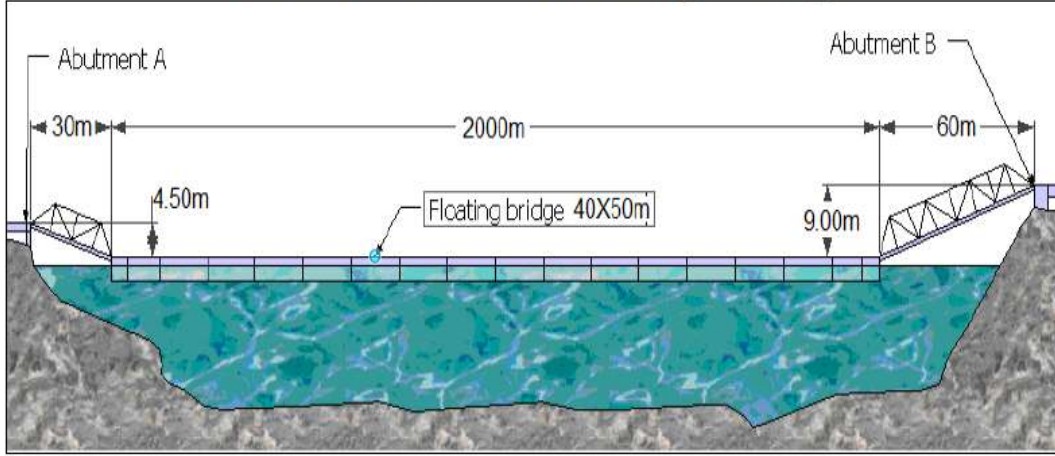
يتألف هذه النوع من الجسور (SPB) من جوائز مسنودة على طوافات غير متصلة مع بعضها بشكل مباشر والمنشأ العلوي يكون عبارة عن جائر معدني ويجب أن يكون قوي وصلب بشكل جيد ليحافظ على الموقع النسبي للطوافات. تثبت الطوافات بشكل منفرد ويمكن أن يكون الجسر بشكل قوسي مثبت من نهايته وبالتالي لا داعي للكابلات في هذه الحالة من اجل مقاومة القوى الأفقية شكل 2.



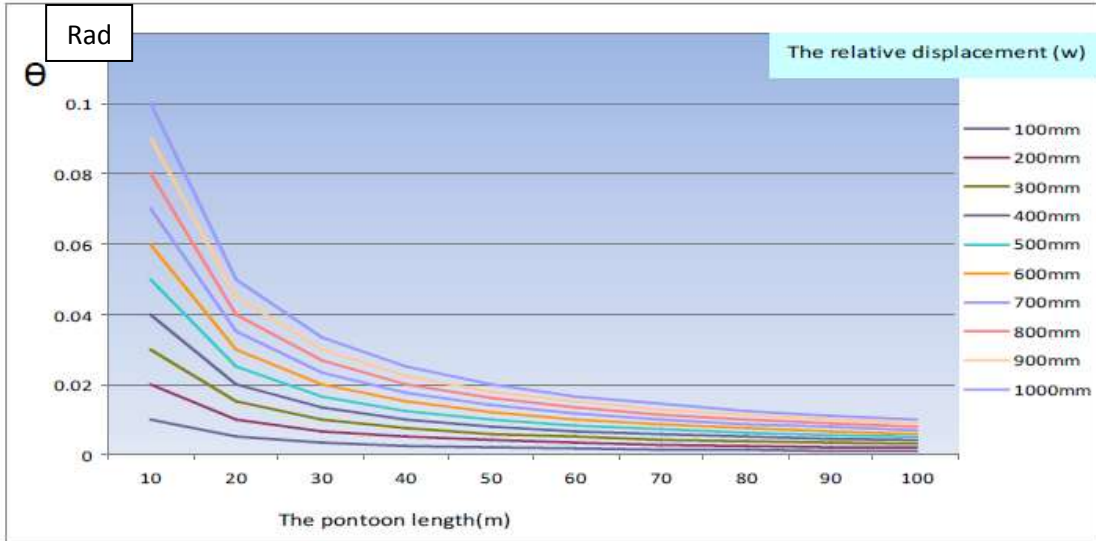
شكل 2 الجسور العائمة المنفصلة والطوافات بدون كابلات إرساء [1]

توجد عدة أبحاث حول دراسة الجسور العائمة واستقرارها وسنتطرق إلى بعض منها: تتناول البحث [1] دراسة جسر عائم لعبور السيارات بطول 2000m مسنود على طوافات مستمرة بأبعاد 22.5*50*8m وفق الشكل 3 ، أظهرت الحسابات الإنشائية أن التشوه يتناسب بشكل عكسي مع طول الموجه ويزداد التشوه بشكل خطي مع ارتفاع طول الموجه وإن الطوافة ستسلك سلوك جائر مرن وستقل الدورانات مع ازدياد طول الطوافة شكل 4.

“The Case of a Floating bridge”



شكل 3 نموذج الجسر المدروس [1]



شكل 4 يوضح علاقة الدوران مع طول الطوافة [1]

تناول البحث [2] و [3] بدراسة نموذج مبسط معرض لقوى استاتيكية وديناميكية وكيفية إيجاد استجابة النموذج للحمولات الطبيعية (رياح وأمواج) وحمولة العربات وكيفية تأثير زيادة عدد المساند على قيم الترددات الذاتية وتغير أبعاد المقطع العرضي وتأثيره على الاستجابة الاستاتيكية والديناميكية مع إهمال تأثير اللزوجة وافترض أن مياه البحر غير قابلة للانضغاط وغير لزجة وحركة السوائل غير دورانية وإن حمولة الأمواج خطية وهذا كافٍ لانجاز تحليل المنشأ تحت تأثير الأمواج المنتظمة.

درست أربعة نماذج عبارة عن جسر مسنود على طوافتين والنموذج الرابع مشابه للنموذج الأول مع زيادة عدد المساند إلى ثلاثة، بيّنت النتائج أن الانحرافات مختلفة بالنسبة لهذه النماذج وكانت قيم الترددات متباينة فيما بينها وقيمة التردد بالنسبة للنموذج الأول 0.0101Hz وبالنسبة للنموذج الثاني 0.00999Hz وبالنسبة للنموذج الثالث 0.0102Hz وبالنسبة للنموذج الرابع 0.00997Hz .

ارتفاع المقطع بالنسبة للنموذج الثاني كان أخفض من بقية النماذج وهذا الفرق في الارتفاع سيؤدي إلى نقصان في الصلابة فضلا عن أن الكتلة ستؤثر على قيم الترددات الذاتية وبالتالي ستكون أقل وبما أن المقطع صندوقية ولا يتضمن أية جوائز تقوية ستنم زيادة السماكة تقريبا إلى واحد متر ليصبح قادراً على مقاومة الأحمال الاستاتيكية لأنه عند زيادة ارتفاع وسماكة المقطع العرضي لن تتم الزيادة فقط في كتلة الجسر وإنما ستؤدي لزيادة في الصلابة والذي سيكون له تأثير كبير على تحليل القيم الذاتية فضلا عن ثبات الكتلة المضافة.

سحاول في بحثنا نمذجة هذه الطوافة والتحقق من إمكانية الطفو لها وسيتم استخدامها كطوافة منفصلة معرضة لحمولة وزنها الذاتي إضافة إلى الأحمال الحية المؤثرة عليها.

أهمية البحث وأهدافه:

أهمية البحث:

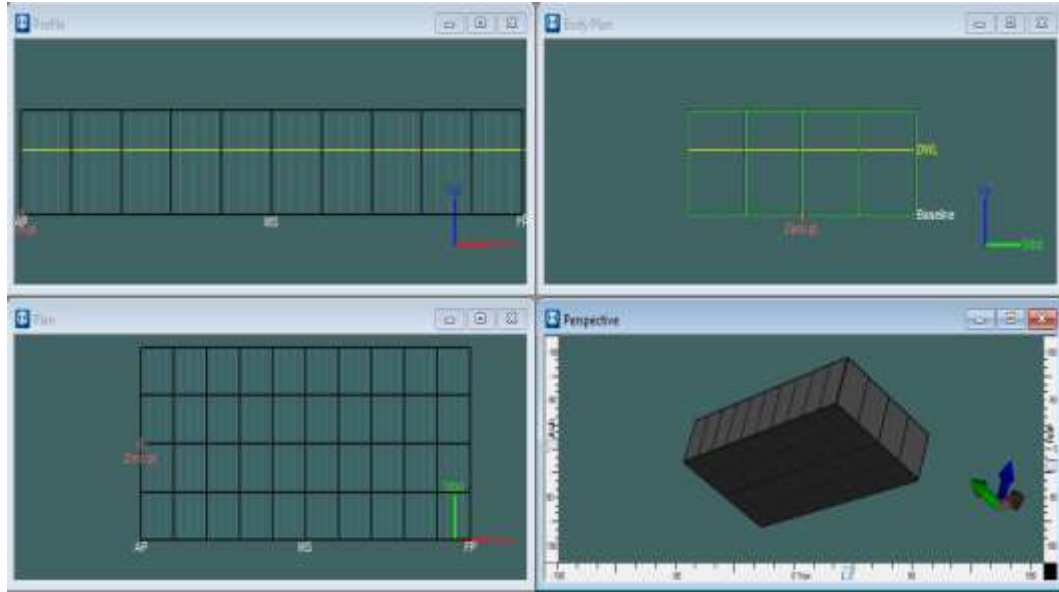
تندرج أهمية البحث من خلال وضع قيود للتصميم وعوامل إنشائية تؤكد استقرار الجسر العائم تحت تأثير الرياح والأمواج ونظراً لقلّة الأبحاث التي توضح السلوك الديناميكي للجسور العائمة تحت تأثير الحمولات دعت الحاجة إلى دراسة هذا النوع من المنشآت لبيان سلوكها الفعلي وتأمين استقرارها وثباتها وتحديد قوى الطفو التي تدعم الجسر في الاتجاه الشاقولي ونظام التثبيت الذي يؤمن الاستقرار في الاتجاه الأفقي تحت تأثير الحمولات الطبيعية (رياح وأمواج) وحمولات المشاة والتي تعتبر الحمولات الرئيسية على الجسر ويسبب الحركة العشوائية لقوى الأمواج والرياح فمن الصعب توقع القيمة الدقيقة والاتجاه الصحيح لتحميل الجسر وهذه القوى تعمل على قتل الجسر وتؤثر عليه في الاتجاهين الأفقي والشاقولي.

الهدف من البحث:

- دراسة نموذج مبسط من الجسر العائم والذي هوي عبارة عن طوافتين يستند عليهما جسر معدني.
- تحديد استجابة الجسر العائم واستقراره تحت تأثير حمولات الأمواج المنتظمة وحمولات المشاة الموصفة في الكود الأوروبي للمنطقة الواصلة بين جزيرة أرواد ومدينة طرطوس باستخدام البرنامج الهندسي المناسب وذلك.
- حساب التسارعات المنتظمة والدورانات الطولية للجسر التي تعتبر عوامل مهمة لآمان ولراحة مستخدمي الجسر.

طرائق البحث ومواده:

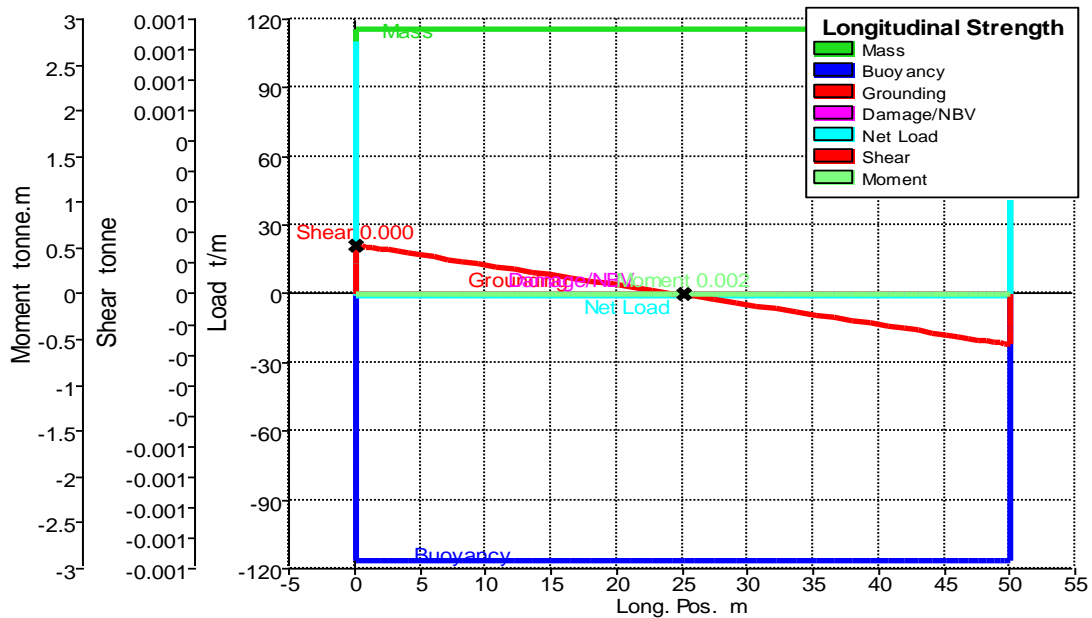
تم رسم طوافة بيتونية واحدة على برنامج Maxsurf Modeler بأبعاد $22.5 \times 50 \times 8$ m حيث سماكة الجدران الخارجية 0.5 m، سماكة القواطع الطولية 0.4 m وسماكة القواطع العرضية 0.3 m بتباعد 5.52 m كما مبين بالشكل 5 وتحديد وزنها ومن ثم تصدير النموذج إلى برنامج Maxsurf stability الذي يقوم بدراسة توازن الطوافة وتحديد بارامتراتهما والتي تعتبر معياراً لبقائها متوازنة مثل عمق الغاطس وارتفاع المركز البيني (GM) أو مايسمى الميتاسنتر وعزم الإرجاع للطوافة.



شكل 5 رسم الطوافة على البرنامج الهندسي

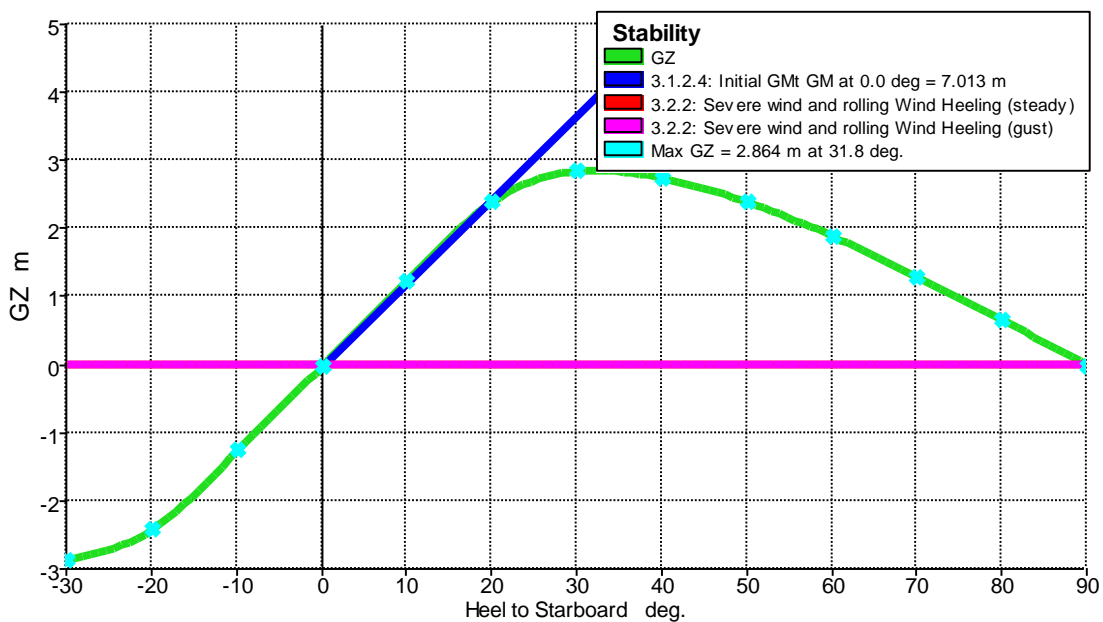
1. دراسة توازن الطوافة بدون تحميل (الوزن الذاتي فقط):

تُدرس طوافة أبعادها $8*22.5*50\text{m}$ ووزنها 5791Ton والعمق الغاطس لها 5m وارتفاع الميناسنتر (GM) 7.013m وكثافة مياه البحر 1.025t/m^3 مع مراعاة انه لا يوجد ميلان طولي أو عرضي وأن توزع قوى الطفو مساوي لتوزع قوى الكتلة والشكل 6 يبين توزع قوى القص وعزوم الانحناء على كامل طول الطوافة.



شكل 6 عزوم الانحناء وقوى القص على كامل طول الطوافة

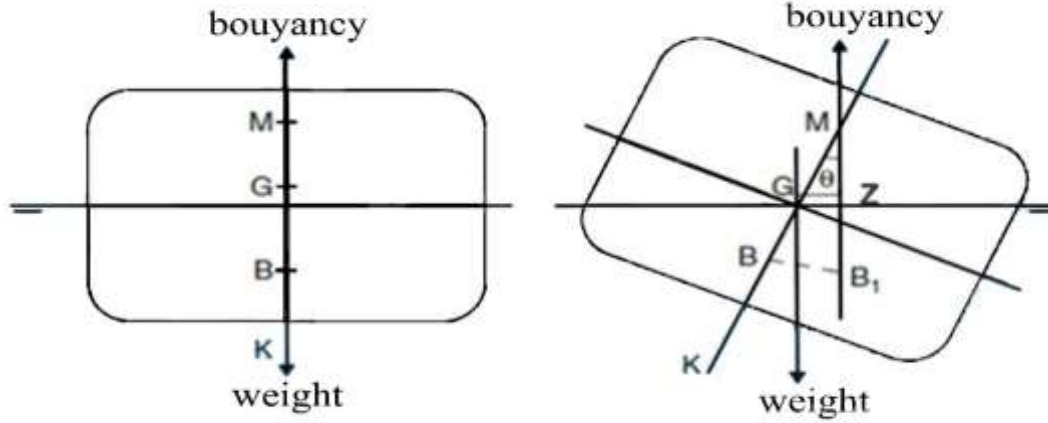
- يبين الشكل 7 استقرار الطوافة حيث يلاحظ تغيرات ارتفاع الميئاسنتر (GM) وعزوم الإرجاع عند زوايا متعددة وسنقارن النتائج مع معايير التوازن لنبيين أن الطوافة آمنة ومستقرة تحت تأثير حمولة وزنها الذاتي والمعايير هي كالتالي [7]:
- يجب ألا تقل المساحة تحت منحنى ذراع التعديل المحصورة بين الزاوية 0 و 30 درجة عن 0.055 m.rad ونلاحظ أن القيمة الفعلية الناتجة عن الحسابات 0.9010m.rad وهي محققة بعامل أمان 15.38 .
 - لا تقل المساحة تحت منحنى ذراع الاستبدال المحصورة بين الزاوية 0 و 40 درجة عن 0.09 m.rad ونلاحظ أن القيمة الفعلية الناتجة عن الحسابات 1.3954m.rad وهي محققة بعامل أمان 14.5 .
 - يجب ألا تقل المساحة الواقعة تحت منحنى ذراع الاستبدال بين الزاوية 30 و 40 درجة، أو بين 30 درجة مئوية وزاوية الفيضان، إذا كانت هذه الزاوية أقل من 40 درجة مئوية، عن 0.03 m.rad ونلاحظ ان القيمة الفعلية الناتجة عن الحسابات 0.4944 وهي محققة بعامل امان 15.48.
 - يجب أن يكون طول ذراع الاستبدال، GZ، على الأقل 0.2m عند زاوية ميلان تساوي أو تزيد عن 30 درجة ونلاحظ أن القيمة الفعلية الناتجة عن الحسابات 2.86m وهي محققة بعامل أمان 13.32.
 - يجب أن تكون القيمة القصوى لذراع الاستبدال عند زاوية ميل لا تقل عن 25 درجة وفي حالتنا تكون الزاوية 31.8 درجة وهي محققة أيضا بعامل أمان 27.27.
 - لا ينبغي أن يكون ارتفاع الميئاسنتر الأولي، GMo، أقل من 0.15 متر وفي حالتنا يكون الارتفاع الأولي 7.013m ويكون محقق بعامل أمان 45.75 .



شكل 7 تغيرات ارتفاع الميئاسنتر [7]

من أجل تحقيق التوازن المستقر يجب أن يكون الموضع الرأسي لمركز ثقل الطوافة G أسفل الميئاسنتر M لذلك فعندما تميل الطوافة بزاوية (θ) يتحرك مركز الطوفو من (B) إلى B1 وتسبب المسافة أو الذراع بين شعاع قوة الوزن وقوة الطفو في هذه الحالة إلى نشوء عزم مزدوجة تعيد الطوافة إلى وضعها الأصلي ويسمى العزم الذي أدى إلى إعادة الطوافة إلى

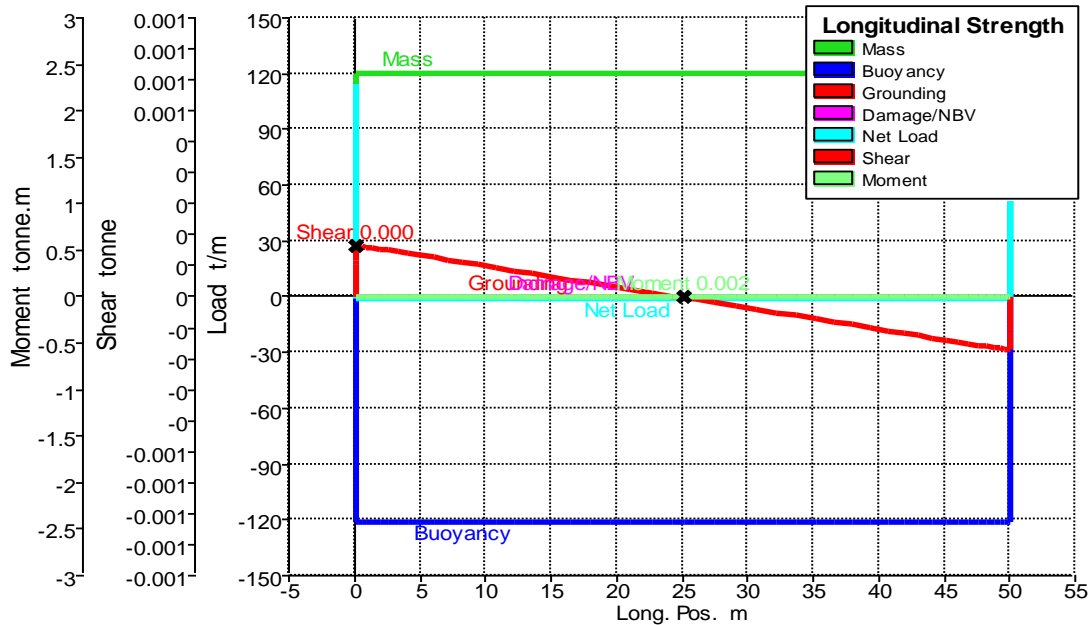
وضعها الأصلي بعزم الاستبدال أو الإرجاع أما الذراع الواصل بين شعاع قوة الوزن وشعاع قوة الطفو يسمى ذراع عزم الاستبدال أو الإرجاع ويختصر تحت اسم GZ كما مبين بالشكل 8 [8] .



شكل 8 يوضح البنية عمل التوازن المستقر [8]

2. دراسة توازن طوافة مع وجود حمولة حية 3 kN/m^2 :

ندرس توازن طوافة وزنها 6255.8 Ton والعمق الغاطس 5.199m وارتفاع الميتاسنتر (GM) 6.59m وكثافة مياه البحر 1.025t/m^3 مع ملاحظة انه لا يوجد ميلان طولي أو عرضي والشكل 9 يبين توزيع قوى القص وعزوم الانحناء حيث نلاحظ ثبات قوى القص والعزم مع وجود تغير طفيف لعمق الغاطس .

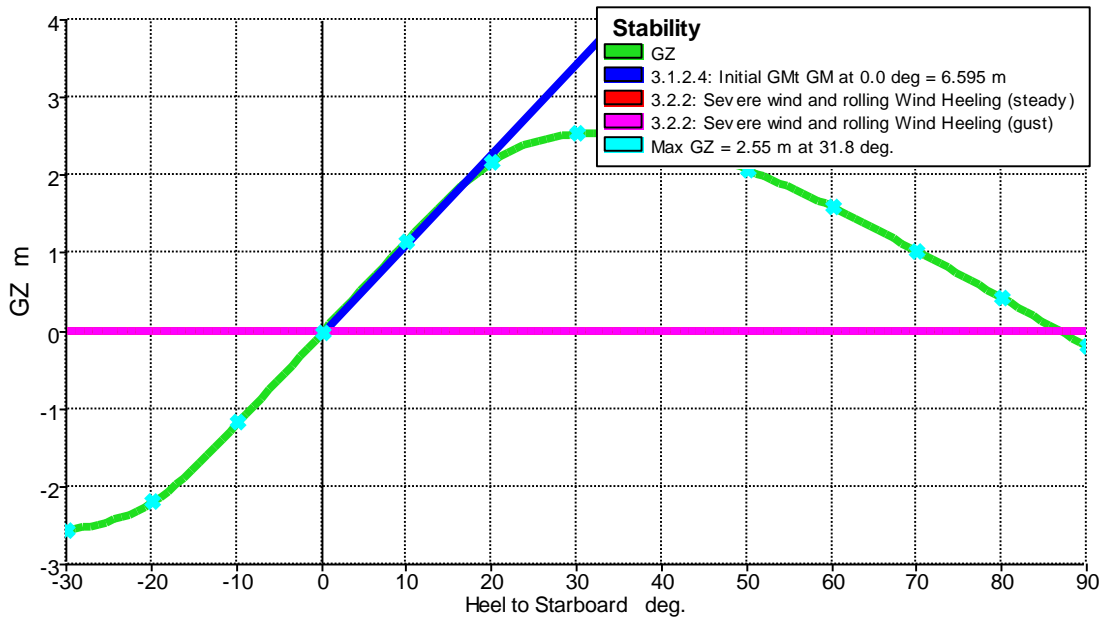


شكل 9 توزيع عزوم الانحناء وقوى القص على كامل طول الطوافة

يوضح الشكل 10 دراسة استقرار الطوافة وتغيرات ارتفاع الميئاسنتر (GM) وعزوم الإرجاع عند زوايا متعددة وسنقارن النتائج مع معايير الاتزان الاستقرار لنبيين فيما اذا كانت الطوافة آمنة ومستقرة تحت تأثير حمولة وزنها الذاتي والحمولة الحية والمعايير مبينة بالجدول 1 :

جدول 1 يبين معايير الاستقرار وعامل الأمان المرافق عند كل معيار

المعيار	القيمة الأصغرية المسموحة	القيمة الفعلية	عامل الأمان
المساحة بين الزاوية 0° و 30°	0.0550 m.rad	0.8235	13.97
المساحة بين الزاوية 0° و 40°	0.0900m.rad	1.2625	13
المساحة بين الزاوية 30° و 40°	0.0300m.rad	0.4390	13.62
قيمة ذراع الاستعدال GZ	0.2m	2.55	11.75
الزاوية عند اعظم GZ	25°	31.8°	27.27
ارتفاع الميئاسنتر الاولي GMT	0.15m	6.595m	42.96



شكل 10 تغيرات ارتفاع الميئاسنتر

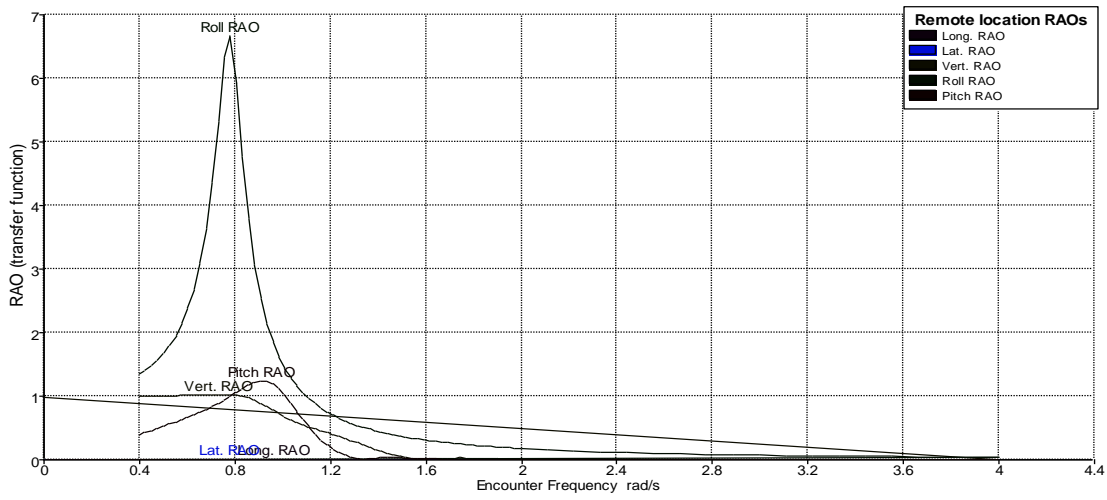
3. دراسة حركة الطوافة (Motion) :

تم استيراد الملف الموجود في برنامج Maxsurf Modeler إلى برنامج Maxsurf Motion ونعرف هنا البارامترات التالية:

- موقع الدراسة هو مركز ثقل الطوافة.
 - السرعة المفترضة هي 0m/s أي أن الطوافة ساكنة .
- حصلنا مسبقا على قيمة مركز الثقل من برنامج Maxsurf Stability وهي على بعد 4.19m من ارتفاع الطوافة وتم اعتماد نموذج طيف موجة Bretschneider وارتفاع موجة 2متر وبدور موجة 7.076 ثانية .

تمت الدراسة على حركة Roll و Pitch و Heave والتي تعبر عن الدوران العرضي أو التآرجح والدوران الطولي والانتقال الشاقولي على التوالي حيث أعطت نتائج حركة (Roll) التي تعبر عن الدوران العرضي أن زاوية الميلان الوسطية هي 5.75° عند السرعة 0.09129 rad/s والتسارع 0.10119 m/s^2 ، أما بالنسبة للحركة الشاقولية (Heave) كانت أعظم قيمة للانتقال الشاقولي 0.348 m وعند السرعة 0.308 m/s والتسارع 0.287 m/s^2 ، وبالنسبة الدوران الطولي (Pitch) أعظم زاوية دوران طولي هي 1.97° والتي تحدث عند السرعة 0.0326 rad/s وعند التسارع 0.03162 rad/s^2 .

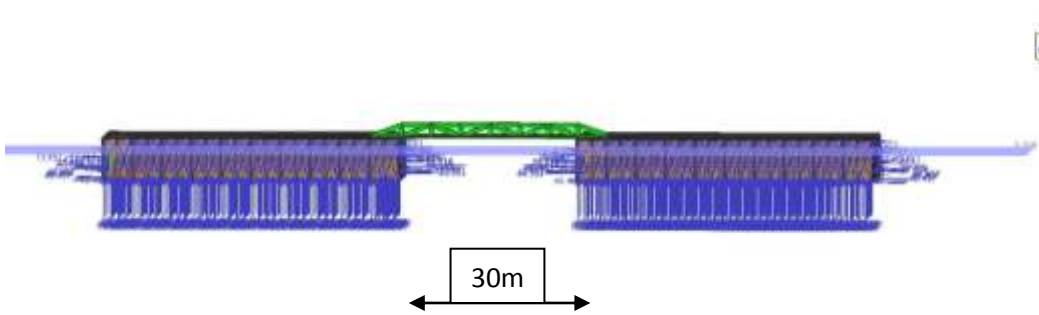
سيقوم البرنامج بحساب أمواج البحر الحقيقية والتي تملك ترددات مختلفة حيث أنه يأخذ 91 تردد تتراوح من 0 (0 rad/s) وتُحدد السعة العظمى عند التردد 0.781 rad/s والتي توافق 6.66° كما مبين بالشكل 11.



شكل 11 يوضح طيف الاستجابة لحركة Roll, Pitch, Heave

4. دراسة طوافتين بتباعد 30m مع وجود جسر معدني في الأعلى :

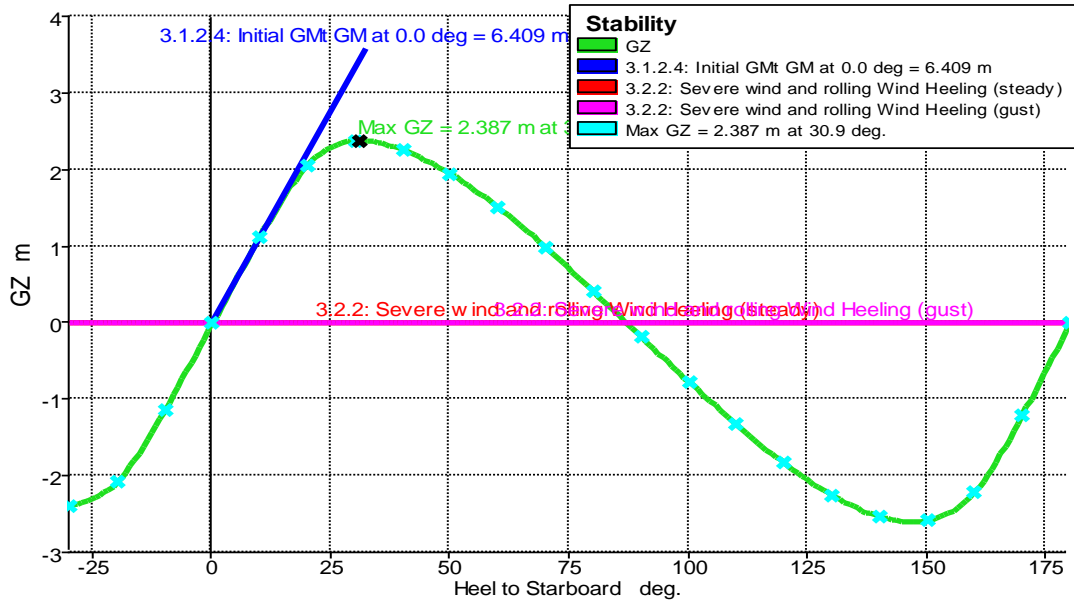
جسر المشاة مكون من مقاطع معدنية $S24 \times 121$ متصلة مع بعضها البعض لتشكل عقد قابلة للدوران كما هو موضح بالشكل 12 حيث ممر المشاة بطول 30m وعرض 5m مع وجود بلاطات مسبقة الإجهاد بسماكة 10cm ووزن الطوافة 5910Ton ووزن ممر المشاة 72.5Ton ووزن الأشخاص 30.5Ton والعمق الغاطس 5.358m.



شكل 12 يوضح نموذج الجسر المستخدم وضغط الماء الهيدروستاتيكي المؤثر عليه

1-4 دراسة استقرار الجسر :

تم حساب الاستقرار بحالة تحميل كاملة حيث كان ارتفاع الغاطس 5.358m ولم يتم ملاحظة أي ميلان طولي أو عرضي وارتفاع الميتاسنتر 6.4m وبين الشكل 13 منحنى الإرجاع GZ .

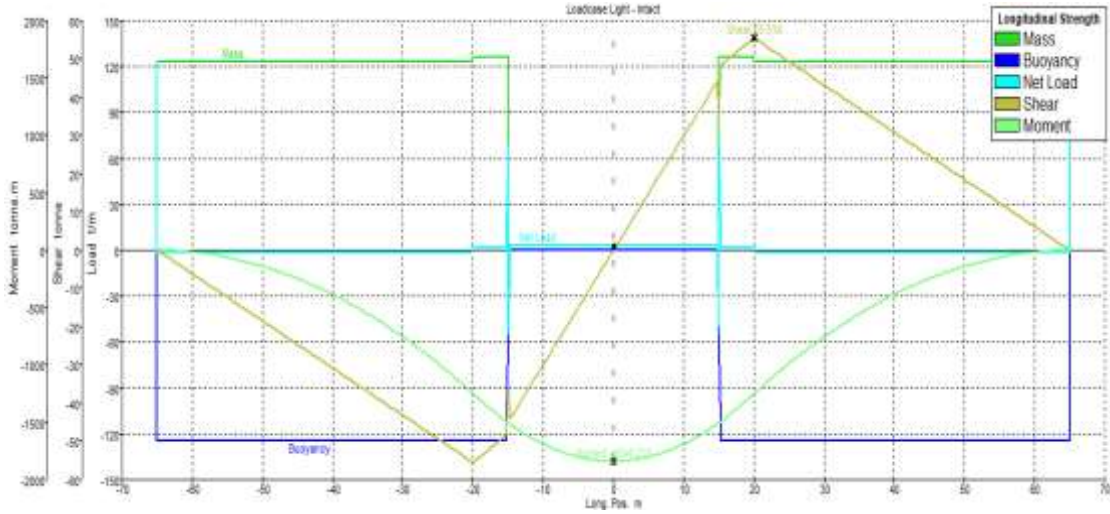


شكل 13 بين منحنى الإرجاع

نلاحظ من الشكل أن جميع معايير الاستقرار محققة حيث أن المساحة تحت منحنى ذراع الاستبدال المحصورة بين الزاوية 0 و 30 درجة هي 44.9m.deg وهي محققة بنسبة 1325.3% و المساحة تحت منحنى ذراع الاستبدال المحصورة بين الزاوية 0 و 40 درجة هي 68.3m.deg وهي محققة بنسبة 1226.2% والمساحة الواقعة تحت منحنى ذراع الاستبدال بين الزاوية 30 و 40 درجة، أو بين 30 درجة و زاوية الفيضان، 23.47m.deg وهي محققة بنسبة 1265.5% وذراع الاستبدال، GZ، 2.38m وهي محققة بنسبة 1093.5% والقيمة القصوى لذراع الاستبدال عند زاوية ميل لا تقل عن 25 درجة هي 30.9 درجة وهي محققة أيضا بنسبة 23.6%.

لا ينبغي أن يكون ارتفاع الميتاسنتر الأولي، GMo، أقل من 0.15 متر وفي حالتنا الارتفاع الأولي 6.4m وهو محقق بنسبة 4172.2% .

الشكل 14 يبين توزيع قوى القص والعزوم على كامل الطوافة .



شكل 14 يبين توزيع عزوم الانحناء وقوى القص على كامل طول الطوافتين والجسر

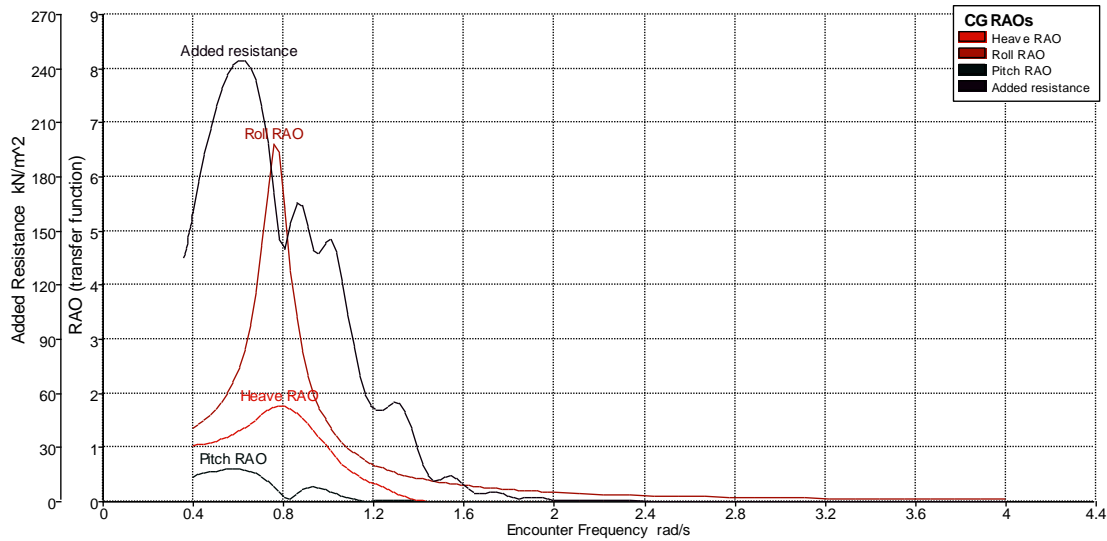
2-4 دراسة حركة الجسر (Motion):

تم اعتماد مركز الدراسة هو مركز النقل الواقع بين الطوافتين أي على بعد 15 متر واعتماد نموذج طيف موجة Bretschneider وبارتفاع موجة 2متر وبدور موجة 7.076 ثانية واتجاه التحميل بزاوية 90 درجة على المنحى الطولي للطوافة وارتفاع الميئاسنتر 6.14m .

جدول 2 يبين قيم انتقالات الجسر ذو التباعد 30m

التسارع الموافق	السرعة الموافقة	القيمة العظمى	
0.09644rad/s ²	0.0866rad/s	5.48°	الدوران العرضي أو التآرجح (Roll)
0.408m/s ²	0.462m/s	0.54m	الانتقال الشاقولي (Heave)
0.00566rad/s ²	0.00608rad/s	0.39°	الدوران الطولي (Pitch)

يقوم البرنامج بحساب أمواج بحر حقيقية والتي لديها ترددات مختلفة حيث يأخذ 91 تردد تتراوح من (0-4)rad/s والذي يعطي السعة العظمى عند التردد 0.781rad/s والتي توافق 6.43° وفق الشكل 15.



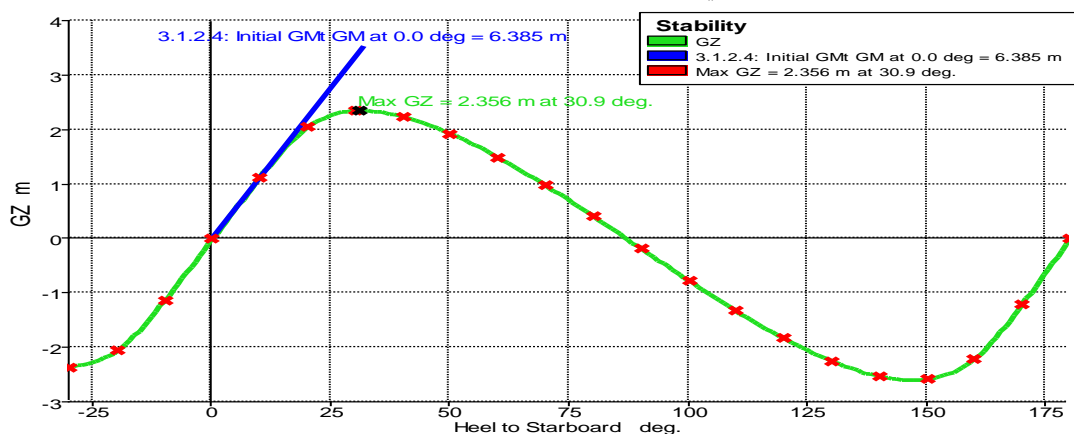
شكل 15 يوضح طيف الاستجابة لحركة Roll,Pitch,Heave

5. دراسة طوافتين بتباعد 40m مع وجود جسر معدني في الأعلى :

الجسر موضح بالشكل 12 وهو مكون من مقاطع معدنية S24x121 متصلة مع بعضها البعض لتشكل عقد قابلة للدوران حيث طول ممر المشاة 40متر وعرض 5 متر مع وجود بلاطات مسبقة الإجهاد بسماكة 10cm ووزن الطوافة 5910 طن ووزن الجسر 92.3Ton ووزن الأشخاص 40.77Ton والعمق الغاطس 5.369 m .

5-1 دراسة الاستقرار :

تم حساب الاستقرار بحالة تحميل كاملة حيث كان ارتفاع الغاطس 5.369m ولم يتم ملاحظة أي ميلان طولي أو عرضي وارتفاع الميتاسنتر 6.385m وبين الشكل 16 منحنى الإرجاع GZ وتغيرات ارتفاع المركز البيني (GM) وعزوم الإرجاع عند زوايا متعددة وسنقارن النتائج مع معايير اتزان الاستقرار لنبيين فيما إذا كانت الطوافتين آمنتين ومستقرتين تحت تأثير حمولة الوزن الذاتي والحمولة الحية والمعايير مبينة بالجدول 3 .

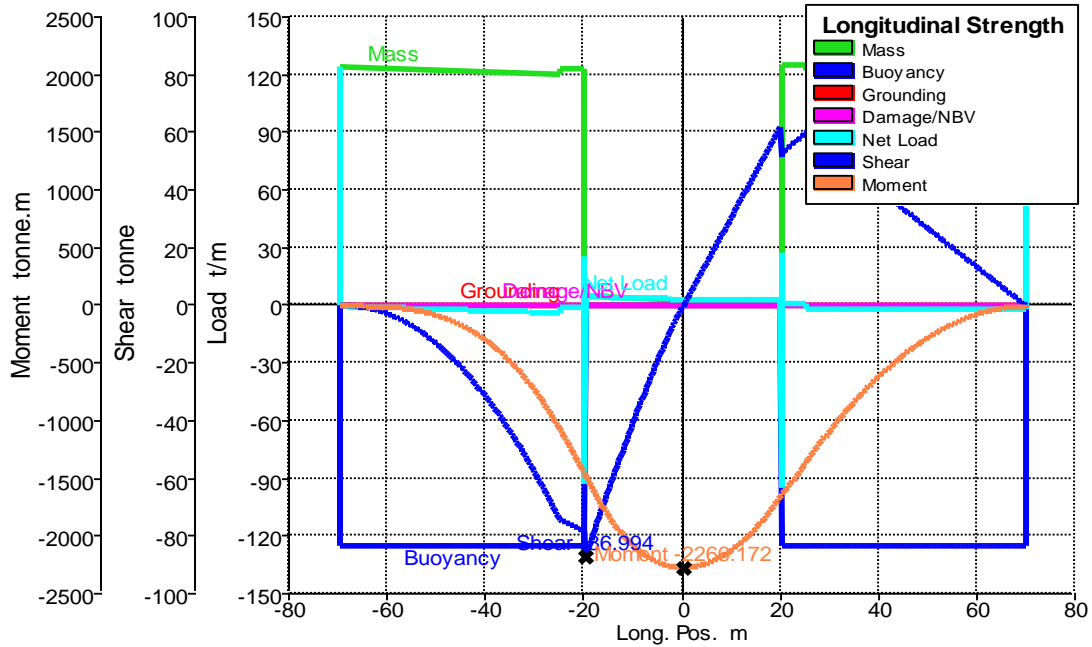


شكل 16 يبين منحنى الإرجاع

جدول 3 يبين معايير الاستقرار وعامل الأمان المرافق عند كل معيار

المعيار	القيمة الأصغرية المسموحة	القيمة الفعلية	عامل الأمان
المساحة بين الزاوية 0 و 30°	3.15m.deg	44.5m.deg	13.12
المساحة بين الزاوية 0 و 40°	5.156m.deg	67.7.deg	12.13
المساحة بين الزاوية 30° و 40°	1.719m.deg	23.2m.deg	12.5
قيمة ذراع الاستعداد GZ	0.2m	2.35m	10.78
الزاوية عند اعظم GZ	25°	30.9°	23.6
ارتفاع الميئاسنتر الاولي GMt	0.15m	6.385m	54.56

الشكل 17 يبين توزيع قوى القص والعزوم على كامل الطوافة .



شكل 17 يبين توزيع عزوم الانحناء وقوى القص على كامل طول الطوافتين والجسر

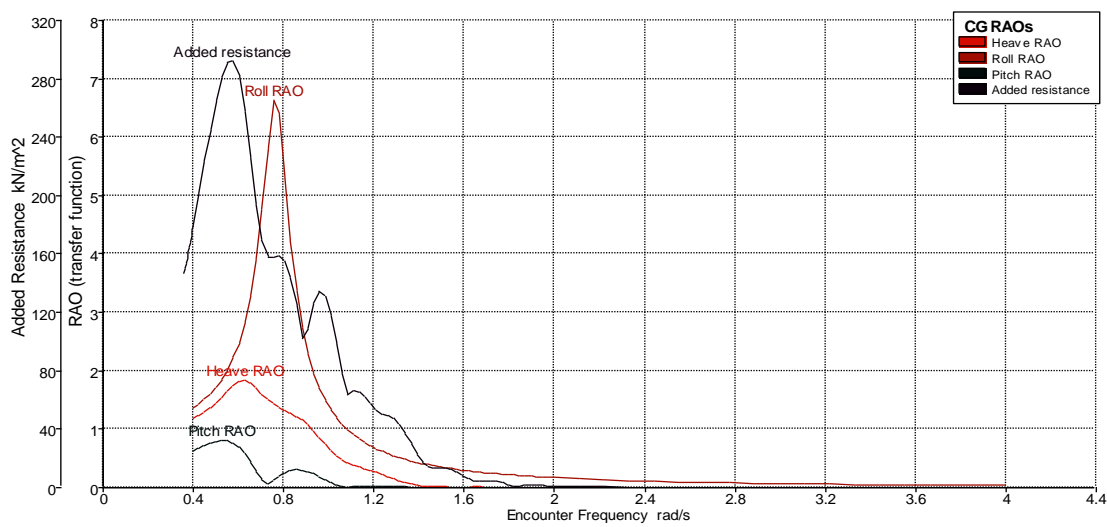
5-2 دراسة الحركة (Motion):

تمت دراسة الحركة عند مركز النقل الواقع بين الطوافتين أي على بعد 20 متر تم اعتماد نموذج طيف موجة Bretschneider وارتفاع موجة 2متر وبدور موجة 7.076 ثانية واتجاه التحميل بزاوية 90 درجة على المنحى الطولي للطوافة وارتفاع الميئاسنتر 6.385m .

جدول 4 يبين قيم انتقالات الجسر ذو التباعد 40m

التسارع الموافق	السرعة الموافقة	القيمة العظمى	
0.09581rad/s ²	0.08604rad/s	5.45°	الدوران العرضي أو التآرجح (Roll)
0.312m/s ²	0.361m/s	0.436m	الانتقال الشاقولي (Heave)
0.00488rad/s ²	0.00544rad/s	0.36°	الدوران الطولي (Pitch)

سيقوم البرنامج بحساب أمواج بحر حقيقية والتي لديها ترددات مختلفة حيث أنه يأخذ 91 تردد تتراوح من (0-4)rad/s والذي يعطي السعة العظمى عند التردد 0.629rad/s والتي توافق 2.843° كما مبين بالشكل 18.



شكل 18 يوضح طيف الاستجابة لحركة Roll,Pitch,Heave

6 . دراسة طوافتين بتباعد 50m مع وجود جسر معدني في الأعلى :

الجسر مكون أيضا من مقاطع معدنية S24x121 متصلة مع بعضها البعض لتشكل عقد قابلة للدوران حيث يمر المشاة بطول 50متر وعرض 5 متر مع وجود بلاطات مسبقة الإجهاد بسماكة 10cm وارتفاع الموجة 2متر ووزن الطوافة 5910 طن ووزن الجسر 110Ton ووزن الأشخاص 50.9Ton والعمق الغاطس 5.377 m .

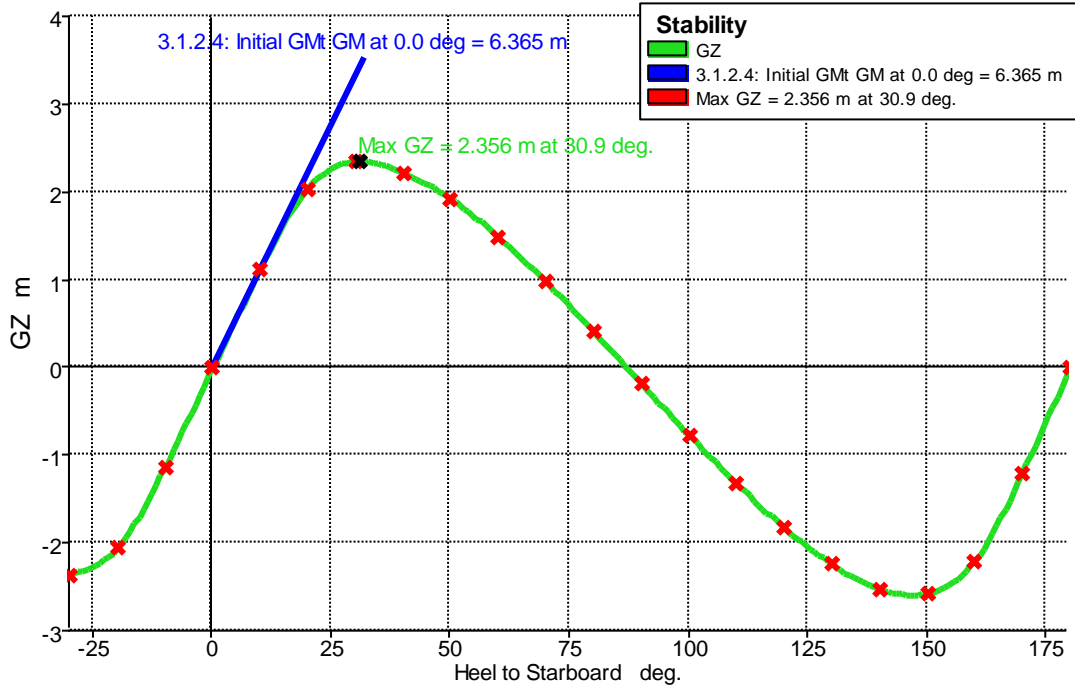
6-1 دراسة الاستقرار :

تم حساب الاستقرار بحالة تحميل كاملة حيث كان ارتفاع الغاطس 5.377m ولم يتم ملاحظة أي ميلان طولي أو عرضي وارتفاع الميئاسنتر 6.365m وببين الشكل 19 منحنى الإرجاع GZ وتغيرات ارتفاع الميئاسنتر (GM) وعزوم الإرجاع عند زوايا متعددة وسنقارن النتائج مع معايير ائزان الاستقرار لنبين فيما إذا كانت الطوافتين آمنيتين ومستقرتين تحت تأثير حمولة الوزن الذاتي والحمولة الحية والمعايير مبينة بالجدول 5 .

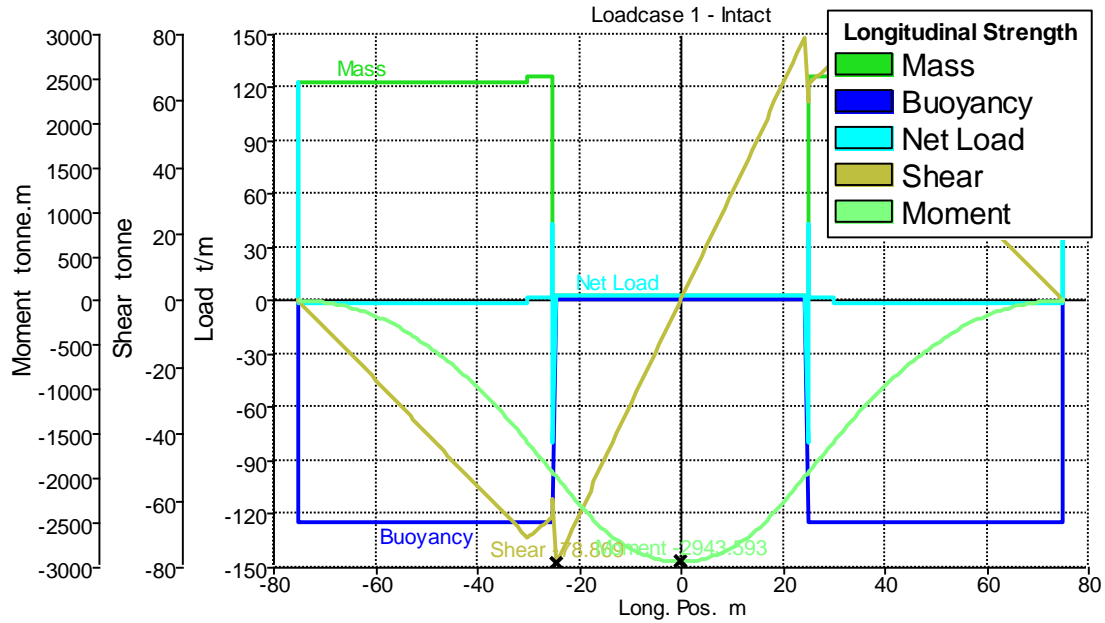
جدول 5 يبين معايير الاستقرار وعامل الأمان المرافق عند كل معيار

المعيار	القيمة الأصغر المسموحة	القيمة الفعلية	عامل الأمان
المساحة بين الزاوية 0 و 30°	3.15m.deg	44.47m.deg	13.11
المساحة بين الزاوية 0 و 40°	5.156m.deg	67.62m.deg	12.11
المساحة بين الزاوية 30° و 40°	1.719m.deg	23.15m.deg	12.47
قيمة ذراع الاستعداد GZ	0.2m	2.35m	10.78
الزاوية عند اعظم GZ	25°	30.9°	23.6
ارتفاع الميتاسنتر الاولي GMt	0.15m	6.385m	41.56

والشكل 20 يبين قيم قوى القص وعزوم الانحناء على كامل طول الطوافة .



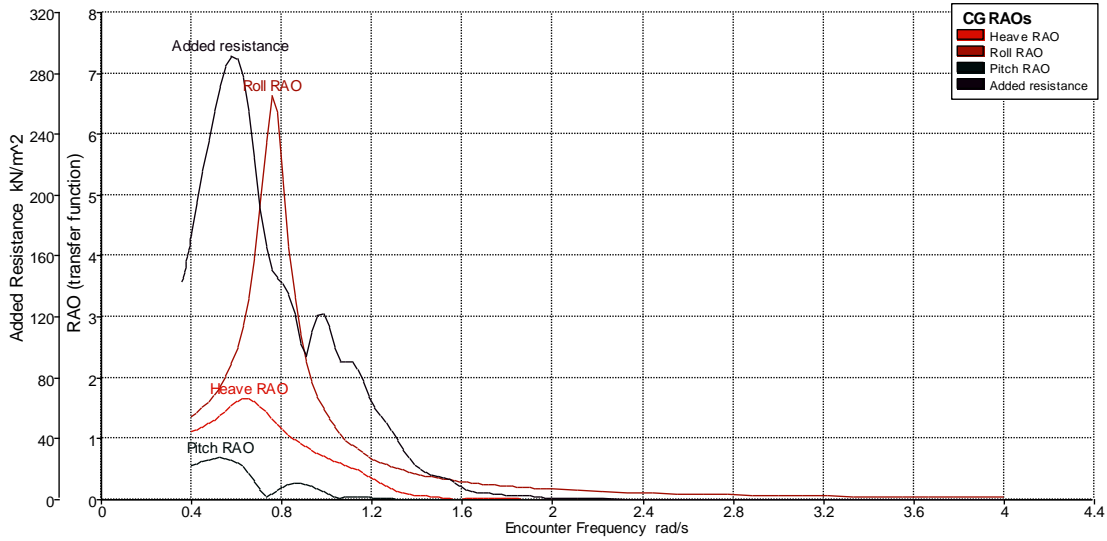
شكل 19 يبين منحنى الارجاع



شكل 20 يبين توزيع عزوم الانحناء وقوى القص على كامل طول الطوافتين والجسر

2-6 دراسة الحركة (Motion):

مركز الدراسة هو مركز الثقل الواقع بين الطوافتين أي على بعد 25 متر حيث تم اعتماد نموذج طيف موجة Bretschneider وبارتفاع موجة 2متر ويدور موجة 7.076 ثانية واتجاه التحميل بزاوية 90 درجة على المنحى الطولي للطوافة وارتفاع الميئاسنتر 6.365m وتمت الدراسة على حركة Roll و Pitch و Heave حيث أعطت نتائج حركة Roll التي تعبر عن الدوران العرضي أو التآرجح أن زاوية الميلان الوسطية هي 5.42° عند السرعة 0.08555rad/s والتسارع 0.09531 m/s^2 ، وبالنسبة للحركة الشاقولية (Heave) كانت أعظم قيمة للانتقال الشاقولي 0.396m وعند السرعة 0.333m/s والتسارع 0.295m/s^2 ، وبالنسبة للدوران الطولي (Pitch) كانت أعظم زاوية دوران طولي هي 0.32° والتي تحدث عند السرعة 0.00503rad/s وعند التسارع 0.00460rad/s^2 . البرنامج سيقوم بحساب طاقة الأمواج البحرية الحقيقية والتي تملك ترددات مختلفة حيث أنه يأخذ 91 تردد تتراوح قيمها من $(0-4)\text{rad/s}$ و يعطي السعة العظمى عند التردد 0.629rad/s والتي توافق 2.843° كما مبين بالشكل 21.



شكل 21 يوضح طيف الاستجابة لحركة Roll, Pitch, Heave

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- الطوافة المدروسة ذات الأبعاد $22.5 \times 50 \times 8\text{m}$ كانت مستقرة تحت تأثير كافة المؤثرات الخارجية بما فيها الحمولات الهيدروديناميكية.
- بما أن المركز البيني للطوافة (الميتاسنتر) مرتبط بتأثير الحمولات الخارجية عليها وتتراوح قيمه بين 7.013m لحالة طوافة مفردة بدون تحميل و 6.32m لحالة طوافتين بتباعد 70m فقد أظهرت النتائج استقرار الطوافات خلال مراحل التحميل (وزن ذاتي -حمولة حية- جسر معدني- حمولات هيدروديناميكية).
- نلاحظ وجود تأثير بسيط للقص والعزم على الطوافة لذلك تم اعتماد تسليح إنشائي لجدران وبلاطات الطوافة.
- بالنسبة للدوران العرضي (Roll) تراوحت قيمته بين $(5.39-5.48)^\circ$ والانتقال الشاقولي Heave كانت أعظم قيمة له 0.54m ونلاحظ أن القيم صغيرة وضمن الحدود المسموحة.
- أظهرت النتائج بأن استناد الجسر المعدني على الطوافة بشكل موثوق يعطي انتقالات ودورانات أقل من حالة الاستناد المفصلي.

التوصيات:

- ننصح بدراسة مجازات (مسافة ضوئية) أكبر من 70 متر بين طوافتين متجاورتين وتأثير ذلك على الطوافة وتغيرات ارتفاع الميتاسنتر والانتقالات .
- دراسة تأثير ارتفاع أمواج أكبر من 2 متر.
- دراسة تأثير المد والجزر على الطوافات.

References:

- [1] SALEH, A.H. *Mega floating bridges*. volume 1, Leiden, Netherland, 2010.
- [2] Lund, K.H. *Description and analysis of floating bridges*. Norwegian university of science and technology, 2017.
- [3] RAHMAN, A. *Dynamic Analysis of Floating Bridges with Transverse pontoons*. Norwegian university of science and technology, 2014.
- [4] C.M. Wang and B.T Wang. *Large Floating Structures, Technological Advances*. Springer Singapore, Singapore, 2015.
- [5] M. S. Seif and Y. Inoue. *Dynamic analysis of oating bridges*. *Marine Structures*, pages 29{46, 1998.
- [6] *Floating bridge - when is the technology ready?* Powerpoint presentation, 2015.
- [7] M M. Lwin and J. M. Kulicki. *Bridge Engineering in the United States*. CRC Press, 2013.
- [8] Guinness World Records. *New bridge in washington state betters longest floating bridge record*. <http://www.guinnessworldrecords.com/news/brand-or-agency/2016/4/new-bridge-in-washington-state-betters-longest-floating-bridge-record-425118>, Retrieved: 07-05-2017.
- [9] G. Solland, E Landet, and Tronskar J.P. *Use of high strength steel in Norwegian floating bridges*. *Strait Crossings* 94, pages 735{742, 1994.
- [10] E. Bratteland. *Floating marine structures in Norway: state of the art*. Portand Harbour Research Institute, 1994.
- [11] T. Stabenfeldt. *The salhus bridge: Construction and installation*. *Strait Crossings* 94, pages 543{546, 1994.
- [12] P. Meaas, E. Landet, and V. Vind_y. *Design of the salhus oating bridge (nordhordland bridge)*. *Strait Crossings* 94, pages 729{734, 1994.
- [13] Haitham Issa, *Balance of Ships 1,2*, Tishreen University, 2018.
- [14] Structurae. *West india quay footbridge*. <https://structurae.net/structures/west-india-quay-footbridge>, Retrieved: 10-02-2017.
- [15] Hawaii for Visitors. *Ford island bridge*. <http://www.hawaiiiforvisitors.com/oahu/attractions/ford-island-photos-02.htm>, Retrieved: 28-04-2017.
- [16] M. Nagai, Y. Okui, Y. Kawai, M. Yamamoto, and K. Saito. *Bridge Engineering in Japan*. CRC Press, 2013.
- [17] Khaleejtimes. *Dubai oating bridge closure on fridays extended* <http://www.khaleejtimes.com/nation/dubai/dubai-floating-bridge-closure-on-fridays> extended, Retrieved: 10-05-2017.
- [18] Partnerships British Columbia. *William r. bennett bridge*. <http://www.partnershipsbc.ca/projects/operational-complete/william-r-bennett-bridge> Retrieved: 2017-05-15.
- [19] Statens vegvesen. *Statusrapport ferjefri e39*. Technical report, Statens vegvesen, 2015.
- [20] *Coastal highway route e39*. Powerpoint presentation, 2015.
- [21] M. M. Lwin. *Floating Bridges*. CRC Press, 2014.