

## دراسة وتحليل تأثير بارامترات خزانات تخميد التآرجحات لتقليل أثر التآرجحات العرضية للسفن البحرية

د. ميشيل بريهان\*

غيث ميهوب\*\*

(تاريخ الإيداع 10 / 3 / 2021. قُبِلَ للنشر في 19 / 4 / 2021)

### □ ملخص □

يهدف البحث إلى إيجاد خوارزمية لتحديد بارامترات خزانات التخميد المناسبة بحيث تقدم أكبر عزم تخميد ممكن مع مراعاة عدم التأثير سلبيًا باتزان السفينة الأولى، يعتمد البحث على تحديد معادلات حركة اهتزاز السفينة ومعادلة حركة السائل في خزان التخميد ثم وضع شروط التصميم الأولى وتطوير برنامج باستخدام لغة البرمجة ( Visual Basic.net) لاختيار أبعاد الخزان المثلى وإدخالها إلى معادلات الحركة ثم حل هذه المعادلات باستخدام برنامج (Matlab) لتحديد تأثير بارامترات الخزان وتردد الأمواج الواردة على التآرجح العرضي السفينة .

الكلمات المفتاحية : التآرجح العرضي - خزانات التخميد - عزم التخميد - تردد الامواج

\*أستاذ مساعد - قسم الهندسة البحرية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.  
\*\*طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم الهندسة البحرية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## **Studying and Analyzing Anti-Roll Tanks Parameters Effects on Reducing Marine Vessels Rolling**

**Dr. Michel Barbahan\***

**Ghaith Mayhoob\*\***

(Received 10 / 3 / 2021. Accepted 19 / 4 / 2021)

### **□ ABSTRACT □**

The research aims to find an algorithm to determine the parameters of the appropriate damping tanks, in order to provide the largest possible damping moment, taking into account not to negatively affect the initial ship's stability. The research depends on determining the equations of the motion of the ship's vibration, and the equation of movement of the fluid in the damping tank. To choose the optimal tank dimensions, a preliminary design conditions were set, and a program using Visual Basic.net as a programming language was developed. The dimensions of tank were inserted into the equations of motion. These equations were solved using Matlab program to determine the effect of the reservoir parameters and the frequency of the incoming waves on the ship's transverse oscillation.

**Keywords:** Ship rolling – Anti Roll Tanks – Damping moment – Wave frequency

---

\* Associate Professor, Marine Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\*Postgraduate Student - Marine Engineering Department - Mechanical & Electrical Engineering Faculty –Tishreen University - Lattakia – Syria .

**مقدمة:**

تتنوع أسباب محاولة التحكم في حركة السفينة وتقليلها بتنوع أنواع السفن . حيث تتعارض الحركات المفرطة مع الأنشطة الترفيهية وراحة الركاب على متن السفن السياحية . وغالبًا ما يتم تخزين أكثر من نصف حمولة سفن الحاويات فوق سطح السفينة حيث تتعرض لتسارع كبير بسبب التآرجح العرضي (Rolling) . في بعض الحالات قد يتسبب ذلك بالضرر لمحتويات الحاويات الداخلية ؛ في الحالات الأكثر خطورة، يمكن أن تنقطع الأريطة وقد تُفقد الحاويات في البحر .

من متطلبات المنصات البحرية وسفن مد الأنابيب وسفن الحفر ان تكون سعة التآرجح صغيرة جدًا للتمكن من أداء مهامها الهندسية . تستخدم الخزانات المضادة للتآرجح بشكل شائع كمخمدات ميكانيكية لتقليل حركات التآرجح . بشكل عام يمكن تقسيمها إلى خزانات غير نشطة (سلبية) وخزانات غير نشطة خاضعة للتحكم وخزانات نشطة [1]. درس العديد من الباحثين الخزانات المضادة للتآرجح في الستينيات والسبعينيات. وقام الباحثون بمراجعة وتطوير الخزانات السلبية. حيث قام KULA, K باشتقاق معادلات الحركة، واقترح تصاميم جديدة للخزانات [2]. ودرس الباحثون تخميد التآرجح بواسطة خزان U سلبي. كما قام AHMED, F بإشتقاق معادلات حركة السائل في الخزان وشروط الاقتران بين السفينة والخزان [3].

يعتبر العديد من الباحثين اليوم أن معادلات الحركة المشتقة هي الأساس الكلاسيكي لدراسات خزانات U. قام الباحثون بدراسة نوعين من الخزانات السلبية الخاضعة للتحكم. النوع الأول، يتم التحكم بواسطة الصمامات في قناة المياه، والثاني، يتم التحكم بواسطة الصمامات في قناة الهواء [1]. واقترحوا نظام خزان نشط يعتمد على مروحة تُدار باستمرار في اتجاه واحد لتوفير الطاقة. ثم قام باحثون بدراسة تفصيلية للتحكم في خزانات U النشطة المعتمدة على المضخات . وجد MOALEJI، أنه من الأفضل اختيار التحكم في الخزان على أساس تقليل استجابة السفينة لسرعة التآرجح [4]. وقام اخرون بتصميم ومقارنة أربعة خزانات سلبية لنفس السفينة. وتم إجراء دراسة مقارنة بين الخزانات التي تعمل على شكل حرف U والخزانات ذات السطح الحر. واقترح الباحثون نموذجًا رياضيًا لتحسين تصميم الخزانات السلبية ذات السطح الحر، قام KOBYLINSKI بمراجعة عدد من الطرق التنبؤية لحركة التآرجح وتقليلها باستخدام الخزانات المضادة للتآرجح [5]. قام الباحثون في الآونة الأخيرة بدراسة تأثير عوائق التدفق داخل الخزان وتحديد معاملات حركة التآرجح. كما قام WINDÉN بدراسة حركة التآرجح غير الخطية (أي الحركة التي لا يمكن وصفها إلا من خلال المعادلات غير الخطية) في ظروف بحرية مختلفة [6].

في جميع الدراسات المذكورة أعلاه، ركز الباحثون على المعالجة النظرية لمعادلات الحركة أو اختبار النماذج وتحليل الخزانات الموجودة. تم بذل جهد أقل لربط التحقيقات النظرية بمتطلبات ظروف التشغيل الفعلية. تهدف هذه الدراسة إلى توسيع نطاق التحقيقات النظرية لتحسين أداء خزانات U السلبية عبر نطاق واسع من ترددات الورد.

**أهمية البحث وأهدافه:**

تعتبر السفن اهم وسائل النقل والشحن التجاري عالميا ونظرا لدورها الكبير في الاقتصاد العالمي لابد من تطويرها والتغلب على جميع المؤثرات السلبية التي قد تعيق عملها، تأتي أهمية هذا البحث الذي يهدف الى تحسين ظروف عمل السفن وتقليل المخاطر الناتجة عن التآرجحات العرضية . لإنجاز هذا البحث يتم إعداد نماذج رياضية متطورة لدراسة السلوك الديناميكي للسفينة المتأرجحة عرضيا على الأمواج عند مختلف ترددات الورد وتحديد بارامترات خزانات

التخميد المناسبة لتقليل أثر هذه التأرجحات والحد من مخاطرها، يتم الاعتماد على علاقات رياضية جديدة مستخرجة ضمن الموديل الرياضي المقترح بالإضافة الى البرنامج الحاسوبي الذي تم بناؤه خصيصا لهذا الغرض. يهدف هذا البحث إلى:

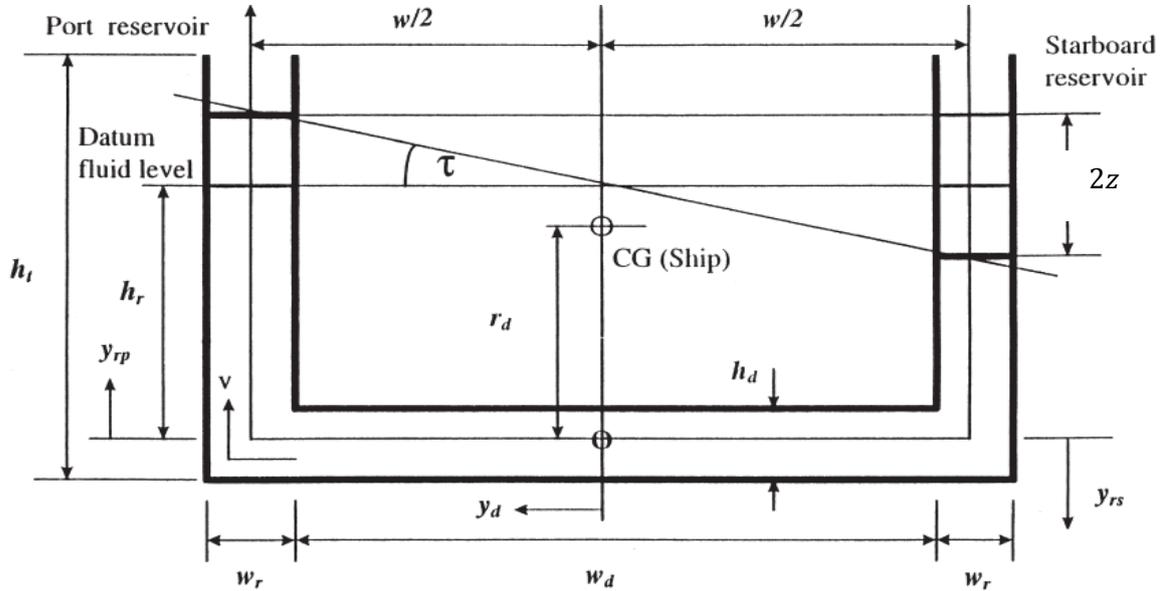
- اعداد نموذج حسابي يصف معادلات حركة تأرجح السفينة العرضي وحركة السائل داخل خزان التخميد
- اعداد خوارزمية تقوم بتحديد بارامترات خزان التخميد المثلى ليعطي أكبر عزم تخميد عند اكبر مجال ممكن لترددات الأمواج الواردة.
- تنفيذ الحسابات والخوارزمية المقترحة ضمن برنامج حاسوبي و تحليل النتائج للوصول الى استنتاجات متعلقة بفعالية الخزان المصمم ووضع التوصيات المناسبة .

## طرائق البحث ومواده:

يتم تحديد شروط تصميم الخزان انطلاقا من معادلة حركة السائل فيه وإيجاد العلاقة بين حركة السائل وحركة تأرجح السفينة .

### 1. معادلة حركة سائل الخزان

يوضح الشكل 1. تكوين خزان سلبي U بسيط. يتكون الخزان من خزانين جانبيين وقناة واصلة بمقطع عرضي مستطيل ثابت. يتم استخدام نظام الإحداثيات الموضح لتحديد حركة السائل في الخزان الناتجة عن حركة السفينة. يقع مركز الخزان O في منتصف القناة الموصلة ويمتد المحور y أسفل الخزان، اتجاه y هو اتجاه التدفق، ويمتد y أفقياً في القناة وعمودياً في الخزانات. ويمثل الرمزان r و d الخزانات الجانبية والقناة على التوالي، n هو عرض الخزان العمودي على المحور y. وهو قيمة متغيرة، وله قيم مختلفة حيث يمثل hd في القناة و wr على الخزانين.



الشكل 1: تعريف الأبعاد الهندسية لخزان التخميد

تخضع حركة كتلة وحدة السائل في الخزان إلى معادلة أولير المبسطة أحادية البعد التالية (ستتم إضافة تأثيرات التخميد لاحقاً)

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial y} = Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} \quad (1)$$

حيث

$Y$  : القوى الخارجية لكل وحدة كتلة.

$\rho$  : كثافة السائل في الخزان.

$v$  : سرعة السائل في الخزان على طول الاتجاه الموجب للمحور  $y$ .

$P$  : ضغط السكوني للسائل في الخزان.

وطالما الخزانات والقناة ذات مقاطع عرضية ثابتة، فستكون سرعة التدفق ثابتة بالنسبة للمحور  $y$  بحيث:

$$\frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

هذا صحيح في كل مكان في الخزان باستثناء التقاطع بين الخزان والقناة. وبإهمال تأثير زاوية التقاطع يمكن تبسيط المعادلة إلى

$$\frac{dv}{dt} = Y - \frac{1}{\rho} \frac{dP}{dy} \quad (3)$$

ومن الشكل نجد ان

$$z = \frac{w}{2} \tan \tau \quad (4)$$

وعلى اعتبار ان  $\tau$  "زاوية الخزان" صغيرة، يمكن تقريبها فتصبح

$$\tau \cong \tan \tau \quad (5)$$

بالتالي نحصل على سرعة السائل في الخزائين الجانبيين

$$v_r = \dot{z} = \frac{w}{2} \dot{\tau} \quad (6)$$

ويمكن الحصول على السرعة في أي نقطة من الخزان باعتبار أن السائل غير قابل للانضغاط من معادلة الاستمرار

تكون السرعة عند أي نقطة في الخزان

$$v = \frac{w_r v_r}{n} = \frac{w_r w}{2n} \dot{\tau} \quad (7)$$

بالتالي يمكن كتابة معادلة حركة السائل في الخزان (3) بالشكل

$$\frac{w_r w}{2n} \dot{\tau} = Y - \frac{1}{\rho} \frac{dP}{dy} \quad (8)$$

تتكون القوة الخارجية المؤثرة على السائل  $Y$  من قوى الجاذبية (تسارع الجاذبية) المطبق على الخزان وقوى الاحتكاك مع

جدران الخزان والاحتكاك في صمامات الخنق والمضخات ان وجدوا.

بالنسبة للخزان الثابت تتكون القوى المؤثرة بشكل رئيسي:

أ) تسارع الجاذبية الأرضية وفق المحور  $y$ :  $a_g$

حيث  $a_g = -g$  في خزان الميمنة، و  $a_g = +g$  في خزان الميسرة، وصفر في القناة.

ب) قوى الاحتكاك أو قوى التخميد. عادةً ما تعتبر شروط احتكاك الجدار متناسبة مع مربع سرعة الجريان المحلي. ومع ذلك، في حالتنا من الملائم افتراض أن التخميد يمكن أن يكون خطياً ويتناسب مع السرعة، نظراً لأن طول الخزان أكبر بكثير من عرض القناة المحلية  $n$ ، بالتالي يمكن التعبير عن قوة الاحتكاك كتابع لسرعة الجريان  $v$ .

$$Y_{friction} = \frac{-qv}{n} \quad (9)$$

حيث  $q$  معامل الاحتكاك على الجدران يتم تقديره أو تحديده تجريبياً.

فتصبح المعادلة (8)

$$\frac{w_r w}{2n} \ddot{t} = -a_g - q \left( \frac{w_r w}{2n^2} \right) \dot{t} - \frac{1}{\rho} \frac{dP}{dy} \quad (10)$$

$$\frac{w_r w}{2n} \ddot{t} + q \left( \frac{w_r w}{2n^2} \right) \dot{t} + a_g = -\frac{1}{\rho} \frac{dP}{dy} \quad (11)$$

$$\frac{\rho w_r w dy}{2n} \ddot{t} + \rho q \left( \frac{w_r w dy}{2n^2} \right) \dot{t} + \rho a_g dy = -dP \quad (12)$$

وفرق الضغط بين خزاني الميمنة والميسرة

$$dP = P_{starboard} - P_{port} = -\rho g \Delta h = -\rho g(2z) = -pgw\tau \quad (13)$$

بمكاملة المعادلة (12) بالنسبة ل  $y$  نحصل على معادلة حركة السائل في الخزان (بدلالة زاوية الخزان  $\tau$  وهي صغيرة بسبب ضيق الخزان بالنسبة لعرض السفينة) كتابع لفرق الضغط على السطح في الخزائين. حيث يجب أن يبدأ التكامل من مستوى السطح في خزان الميمنة ( $y$  سلبي) إلى مستوى السطح في خزان الميسرة ( $y$  موجب). وبالتالي

$$\frac{\rho w_r w}{2} \left( \frac{w}{h_d} + \frac{2h_r}{w_r} \right) \ddot{t} + \frac{\rho q w_r w}{2} \left( \frac{w}{h_d^2} + \frac{2h_r}{w_r^2} \right) \dot{t} + -pgw\tau = 0 \quad [Pa] \quad (14)$$

من الممكن أيضاً التعبير عن المعادلة (14) كتابع للعزم المطبق على سائل الخزان بضربها بمساحة سطح الخزان وذراع العزم  $(w w_r x_t / 2)$ .

فيصبح شكل معادلة السائل في الخزان:

$$a_{tt} \ddot{t} + b_{tt} \dot{t} + c_{tt} \tau = 0 \quad [N.m] \quad (15)$$

حيث:

$a_{tt}$ : معامل الكتلة المضافة للخزان

$$a_{tt} = Q_t w_r \left[ \frac{w}{2h_d} + \frac{h_r}{w_r} \right] \quad (16)$$

$b_{tt}$ : معامل تخميد الخزان

$$b_{tt} = Q_t q w_r \left[ \frac{w}{2h_d^2} + \frac{h_r}{w_r^2} \right] \quad (17)$$

$c_{tt}$ : عزم الخزان الناتج عن زاوية الخزان.

$$c_{tt} = Q_t g \quad (18)$$

$Q_t$ : معامل حجم الخزان

$$Q_t = \frac{\rho w^2 w_r x_t}{2} \quad (19)$$

$x_t$ : طول الخزان. وقد تم تعريف البارامترات الهندسية لخزان التخميد ( $w, w_r, h_r, h_d, rd$ ) في الشكل (1).

## 2. معادلة حركة التآرجح العرضية لسفينة ذات خزان سلبي

اشترك Lloyd (1989) النموذج الرياضي لسفينة ذات خزان سلبي (نظام خزان سفينة [7]) وباستخدام طريقة أويلر يمكن كتابة جملة معادلتني (خزان - سفينة)

$$\text{Ship: } A_{44}\ddot{x} + b_{44}\dot{x} + c_{44}x + [a_{4\tau}\ddot{\tau} + c_{4\tau}\dot{\tau}] = F \sin(\omega_e t) \quad (20)$$

$$\text{Tank: } a_{\tau 4}\ddot{x}_4 + c_{\tau 4}x_4 + a_{t\tau}\ddot{\tau} + b_{\tau\tau}\dot{\tau} + c_{\tau\tau}\tau = 0 \quad (21)$$

حيث:

$x_4, \dot{x}_4, \ddot{x}_4$ : سعة وسرعة وتسارع حركة التآرجح.

$A_{44}$ : عطالة السفينة.

$b_{44}$ : معامل تخميد تآرجح السفينة.

$c_{44}$ : معامل صلابة الاهتزاز.

$a_{4\tau}$ : عزم التآرجح الناشئ عن التسارع الزاوي في الخزان ويعطى بالعلاقة:

$$a_{4\tau} = Q_t(r_d + h_r) \quad (22)$$

$a_{\tau 4}$ : عزم الخزان الناشئ عن التسارع الزاوي للتآرجح ويعطى بالعلاقة:

$$a_{4\tau} = a_{\tau 4} \quad (23)$$

$c_{4\tau}$ : معامل عزم التآرجح المطبق من قبل الخزان نتيجة ميلان السفينة ويعطى بالعلاقة:

$$c_{4\tau} = c_{\tau 4} \quad (24)$$

$c_{\tau 4}$ : معامل عزم التخميد المطبق من قبل الخزان نتيجة ميلان السفينة ويعطى بالعلاقة:

$$c_{\tau 4} = Q_t g \quad (25)$$

التعبير داخل الأقواس المربعة في المعادلة (20) هو عزم التخميد الناشئ عن السائل الموجود داخل الخزان.  $\omega_e$ : تردد الموجة الواردة.

$F$ : هو سعة عزم التحريض ويعطى بالعلاقة:

$$F = \rho \cdot g \cdot \xi_0 \cdot L \cdot e^{-kt} \cdot \left[ \frac{-B}{k} \cos\left(\frac{k \cdot B}{2}\right) + \frac{-2}{k^2} \sin\left(\frac{k \cdot B}{2}\right) \right] \quad (26)$$

$L$ : طول السفينة.

$B$ : عرض السفينة.

$\xi_0$ : ارتفاع الموجة.

$K$ : الرقم الموجي ويعطى بالعلاقة:

$$k = \frac{\omega_e}{g} \quad (27)$$

## 3. شروط تصميم الخزان

• التردد الطبيعي للخزان يساوي التردد الطبيعي للسفينة لتفادي وجود حالتي طنين بين الأمواج الواردة والسفينة وبين الأمواج والخزان

$$\omega_{tank} \approx \omega_{ship} \quad (28)$$

• نسبة عزم التخميد الى سعة التآرجح اعظمية

$$\frac{F_{\tau 40}}{\phi} \equiv \max \quad (29)$$

حيث تعطى نسبة عزم التخميد الى سعة التآرجح بالعلاقة:

$$\frac{F_{\tau 40}}{x_4} = \frac{(c_{\tau 4} - a_{\tau 4} \omega_{ship}^2)^2}{\sqrt{(c_{\tau \tau} - a_{\tau \tau} \omega_{ship}^2)^2 + b_{\tau \tau}^2 \omega_{ship}^2}} \quad (30)$$

$F_{\tau 40}$ : عزم التخميد الناتج عن الخزان.

- ارتفاع السائل في الخزان أكبر من نصف ارتفاع القناة

$$h_r > \frac{h_d}{2} \quad (31)$$

- مركز ثقل الخزان تحت مركز ثقل السفينة حتى لا يرتفع مركز ثقل السفينة بشكل يؤثر على ارتفاع الميناسنتر وبالتالي يقلل من الاتزان الاولي للسفينة (بافتراض ان مركز ثقل السفينة هو مركز الاحداثيات)

$$r_d < 0 \quad (32)$$

- يجب ان لا يتجاوز مجموع عرض الخزائين اليميني واليساري وطول القناة عرض السفينة

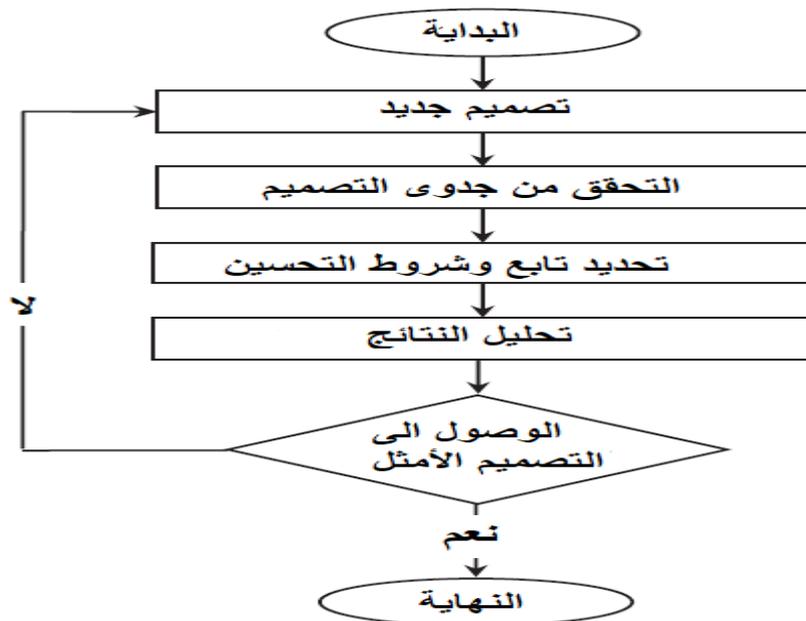
$$w_d + 2w_r \leq B \quad (33)$$

- يجب ان لا يتجاوز تأثير السطح الحر للخزان القيمة 0.25 (من شروط الاتزان الاولي حسب متطلبات هيئات التصنيف البحرية)

$$\mu \leq 0.25 \quad (34)$$

#### 4. خوارزمية تصميم الخزان الامثل

تم تطوير الخوارزمية الجينية GA لأول مرة في أوائل السبعينيات [8]، حيث يتم تطبيق العوامل الوراثية، مثل التكاثر والتقاطع والتحور، لإنشاء مجموعات جديدة. بعد عدد من الأجيال، ستؤدي هذه العملية التطورية إلى عدد كبير من الأفراد ذوي اللياقة العالية. يجب أن يكون الشخص الأكثر لياقة في الجيل النهائي هو الحل الأمثل. يتم استخدام هذه الخوارزمية في التطبيقات البحرية حيث تمثل العوامل الوراثية بارامترات التصميم والحل الأمثل يمثل أقصى عزم تخميد يمكن ان يقدمه الخزان عند الشروط المحددة، ويمكن معالجة أي مشكلة تحسين وفقاً لنموذج التحسين الموضح في الشكل 2.



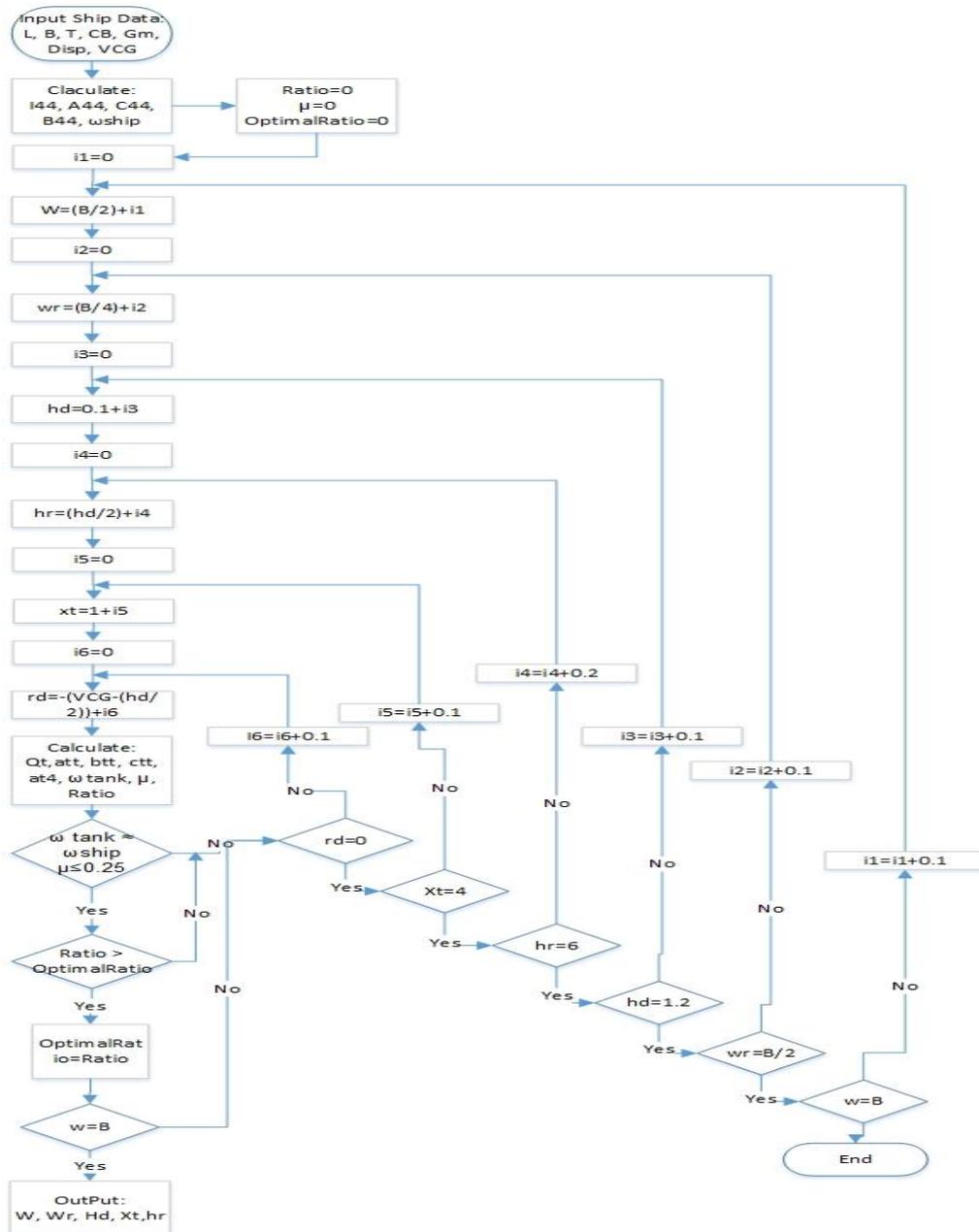
الشكل 2: نموذج التحسين باستخدام الخوارزمية الجينية

### 5. برنامج تصميم الخزان بالاعتماد على الخوارزمية الجينية

تم تطوير برنامج كمبيوتر باستخدام لغة (Visual Basic.net) خصيصاً لإيجاد الخصائص المثلى لخزان التخميد. يبدأ هذا البرنامج بنقطة أولية ويتقدم نحو النقطة المثلى وفقاً للخطوات الموضحة في الشكل 2. يتم تلخيص الإجراء التفصيلي لهذا البرنامج في مخطط التدفق الموضح في الشكل 3.

### 6. برنامج حل جملة معادلتى الحركة باستخدام Matlab

بعد استخدام البرنامج السابق في إيجاد ابعاد الخزان المثلى يتم حساب ثوابت معادلتى حركة السائل في الخزان وحركة تآرجح السفينة لحساب سعة استجابة السفينة، وذلك عن طريق الحل المشترك للمعادلتين باستخدام برنامج (Matlab).



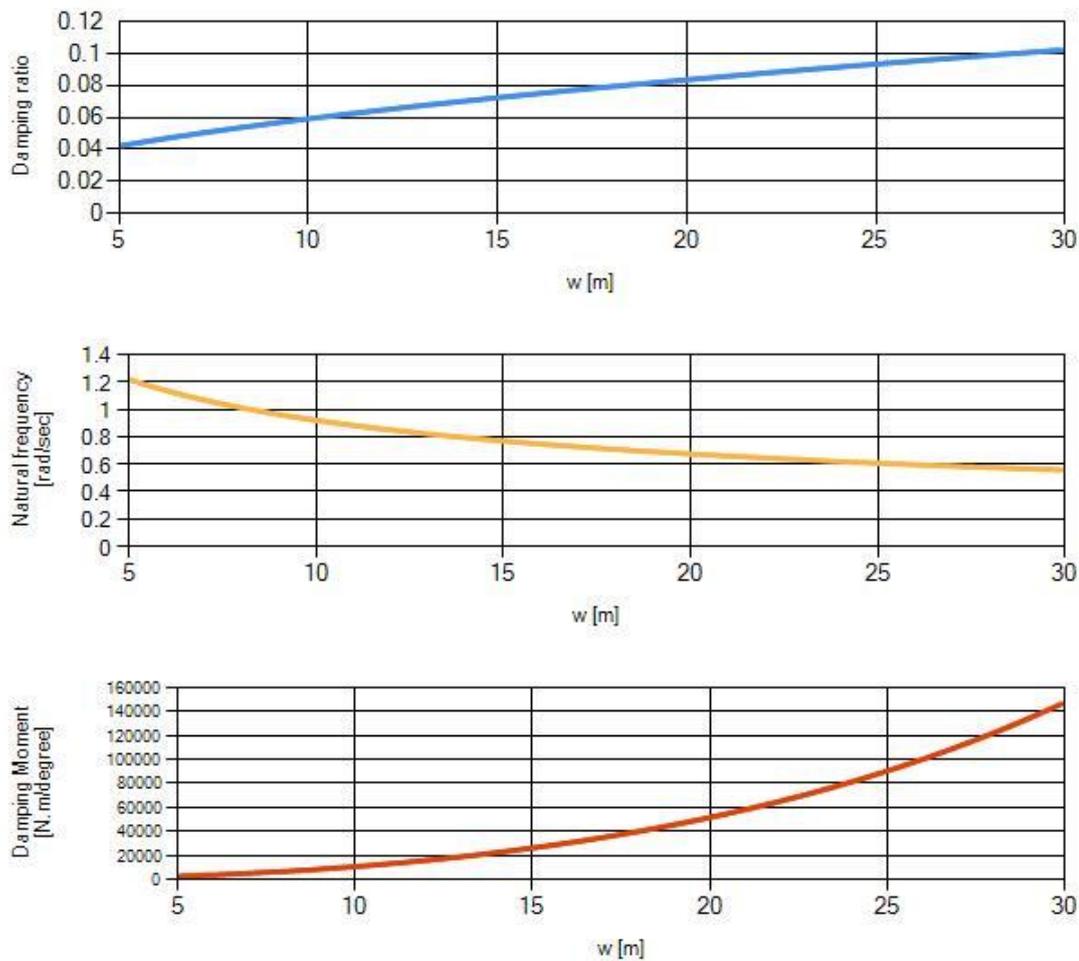
الشكل 3: المخطط التدفقي لتصميم خزان التخميد

## النتائج والمناقشة:

### - دراسة تأثير أبعاد الخزان

اعتماداً على معادلة حركة السائل في الخزان (15) وعلى خوارزمية تصميم خزان التخميد، تم بتصميم برنامج لدراسة تأثير تغير الأبعاد الهندسية للخزان على كل من التردد الطبيعي للخزان ونسبة التخميد (نسبة عزم التخميد الى سعة التآرجح) لتوضيح دور كل بارامتر في تصميم الخزان الأمثل. يتم مناقشة الحالات التالية:  
أولاً: تأثير تغير المسافة بين مركزي الخزائين الجانبيين  $w$

Effect of Width between centres of U-tube reservoirs

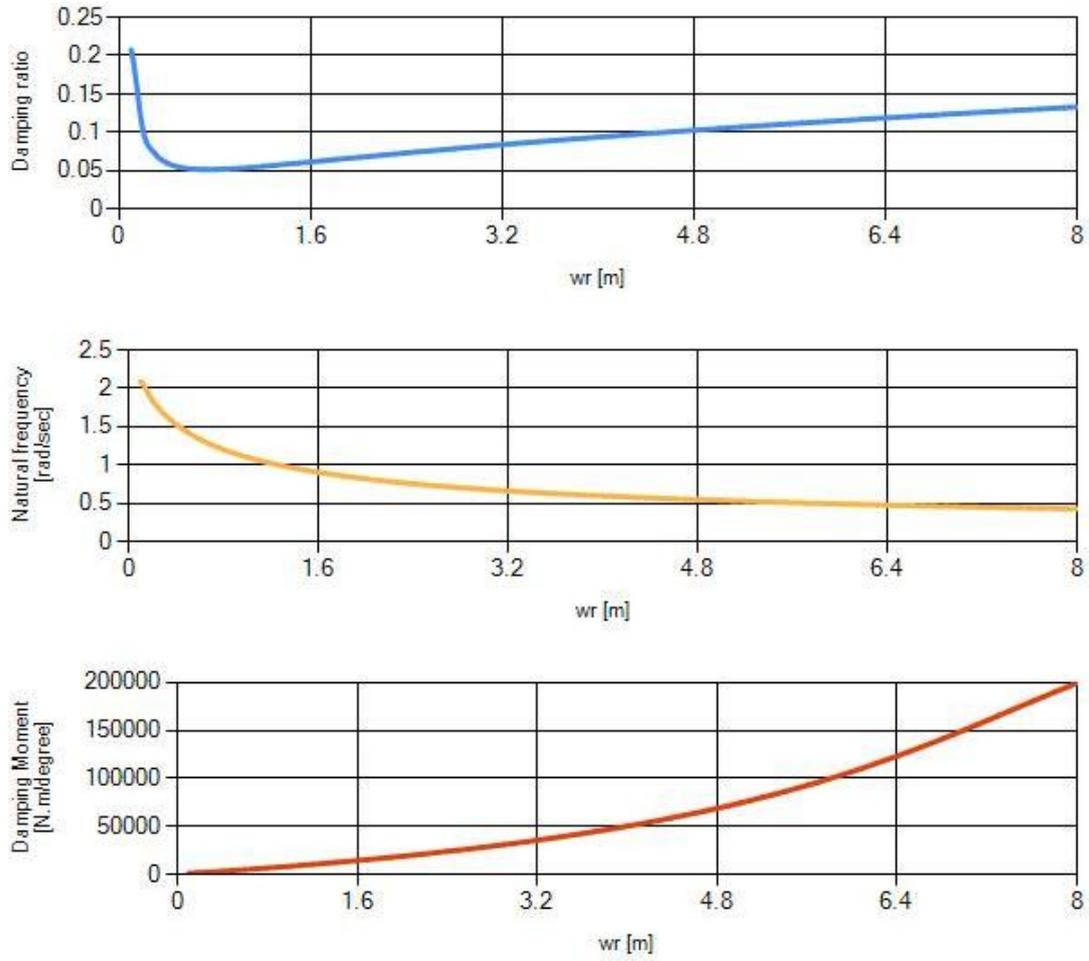


الشكل 4: تأثير تغير العرض بين مركزي الخزائين الجانبيين  $w$

نلاحظ من الشكل (4) ان تزايد المسافة بين مركزي الخزائين الجانبيين يقلل نسبة التخميد ويزيد التردد الطبيعي للخزان بحدود قليلة، بينما تتزايد نسبة عزم التخميد الى سعة التآرجح بازدياد العرض، وهذا يفيد في تصميم الخزان الأمثل حيث نحتاج الى الوصول الى تردد طبيعي يساوي تردد السفينة ونسبة عزم تخميد اعظمية.

ثانياً: تأثير تغير عرض الخزانات الجانبية  $wr$ 

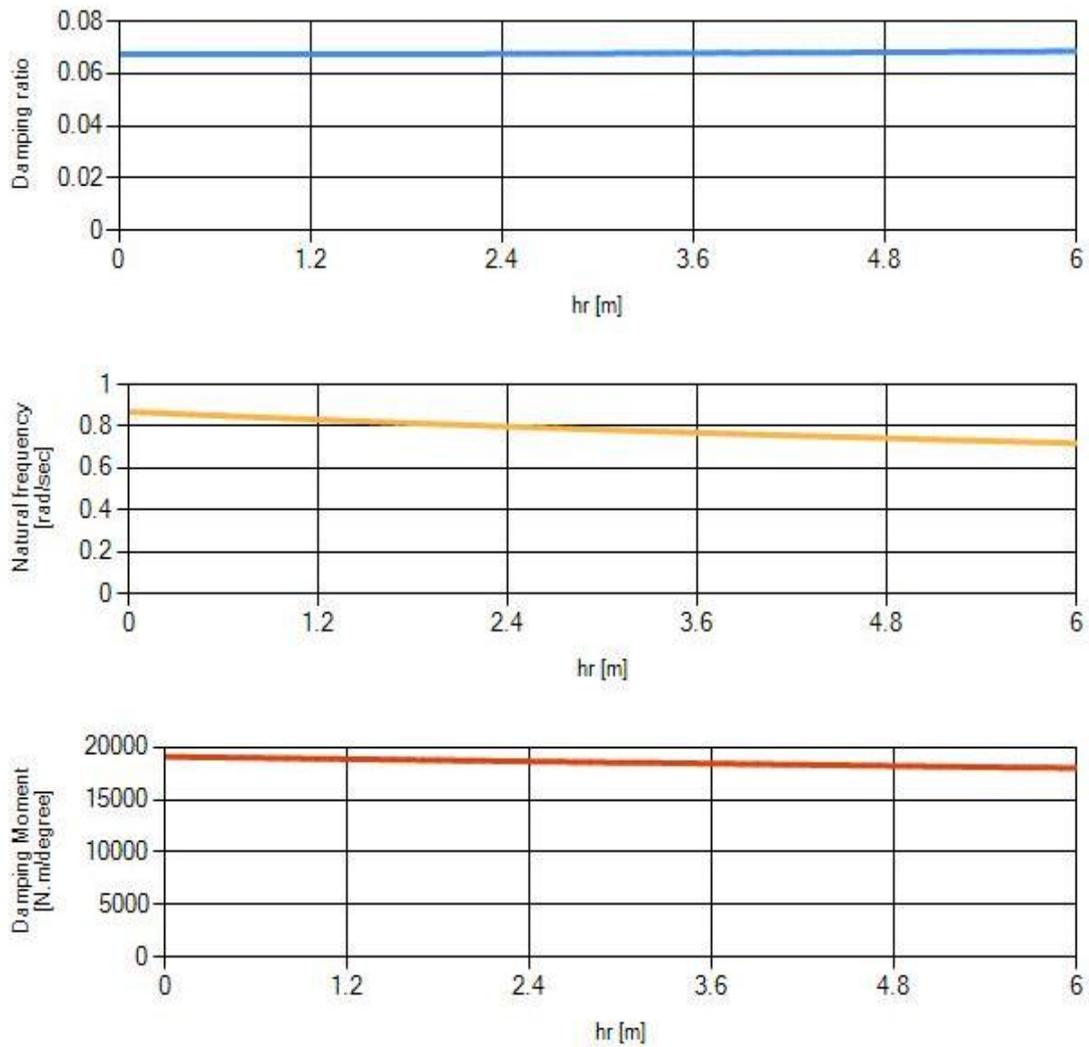
## Effect of Width of U-tube reservoir

الشكل 5: تأثير تغير عرض الخزانات الجانبية  $wr$ 

نلاحظ من الشكل (5) انه عند القيم الصغيرة لعرض الخزائين الجانبيين نقل نسبة التخميد وهي قيم غير مرغوبة لأنه عند هذه القيم تصبح الخزانات ضيقة بالمقارنة مع ارتفاع القناة، ومع ازدياد قيمة  $wr$  تزداد نسبة التخميد، أما تردد الخزان فيتناقص مع تزايد عرض الخزائين الجانبيين، ونسبة عزم التخميد تتزايد بشكل كبير مع تزايد العرض، لذلك يمكن الاعتماد على زيادة العرض لزيادة نسبة العزم الى سعة التآرجح، مع الانتباه الى ان زيادة العرض يقلل من الفراغ المفيد في السفينة.

### ثالثاً: تأثير تغير ارتفاع السائل في الخزانات الجانبية hr

#### Effect of level of fluid in U-tube reservoir

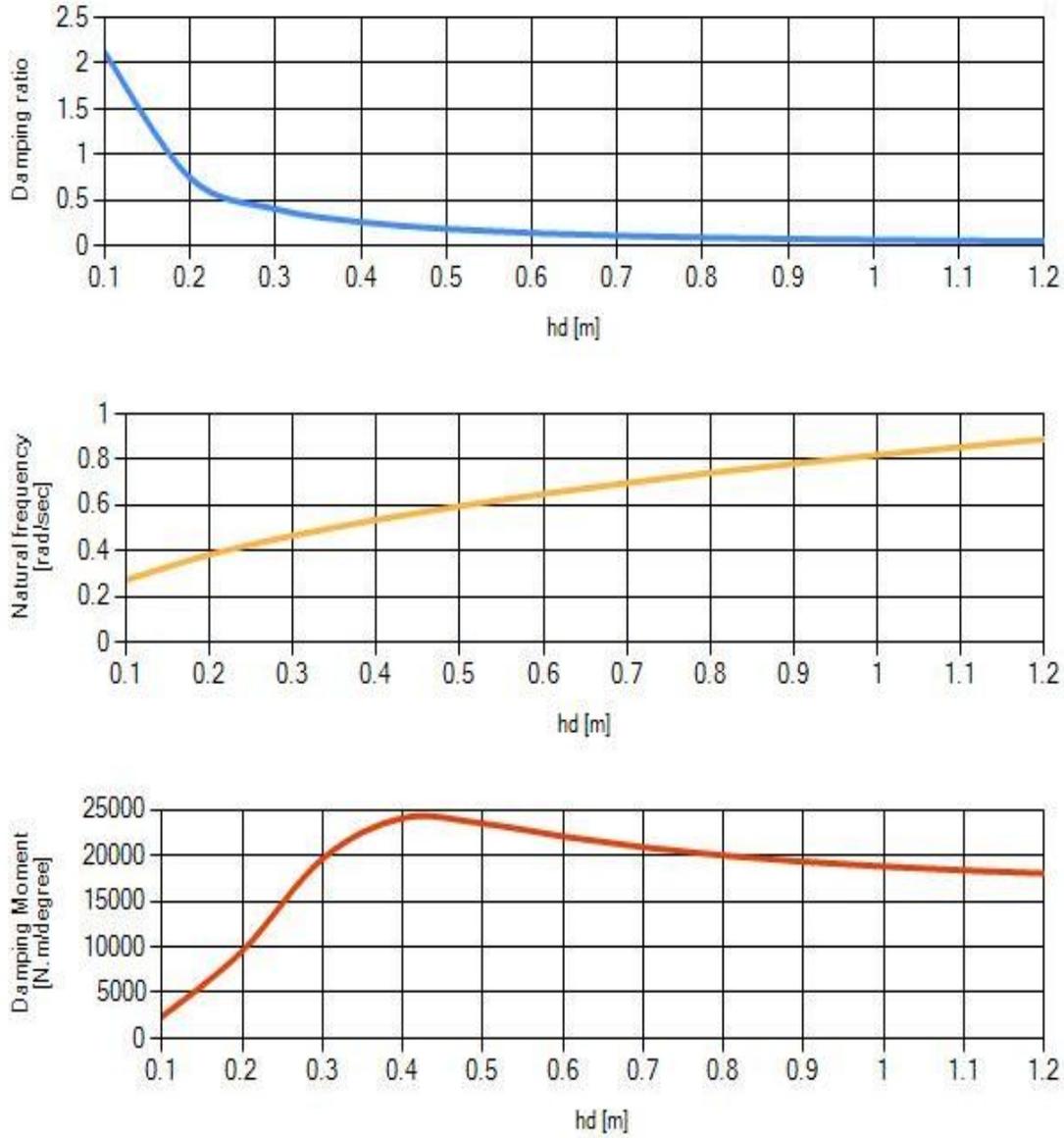


الشكل 6: تأثير تغير ارتفاع السائل في الخزانات الجانبية hr

يتبين من الشكل (6) انه لا يؤثر تغير ارتفاع السائل على كل من نسبة التخميد والتردد الطبيعي ونسبة العزم بشكل ملموس، يمكن الاستفادة من تغيير ارتفاع السائل (كونه البارامتر الوحيد القابل للتعديل بعد تثبيت الخزان في السفينة) لتغيير قيمة تردد الخزان قليلا عند وجود أمواج واردة ذات تردد مساوي لتردد السفينة وبذلك نستطيع تقليل من احتمال حدوث حالة الطنين.

رابعاً: تأثير تغير ارتفاع القناة بين الخزانات الجانبية  $hd$ 

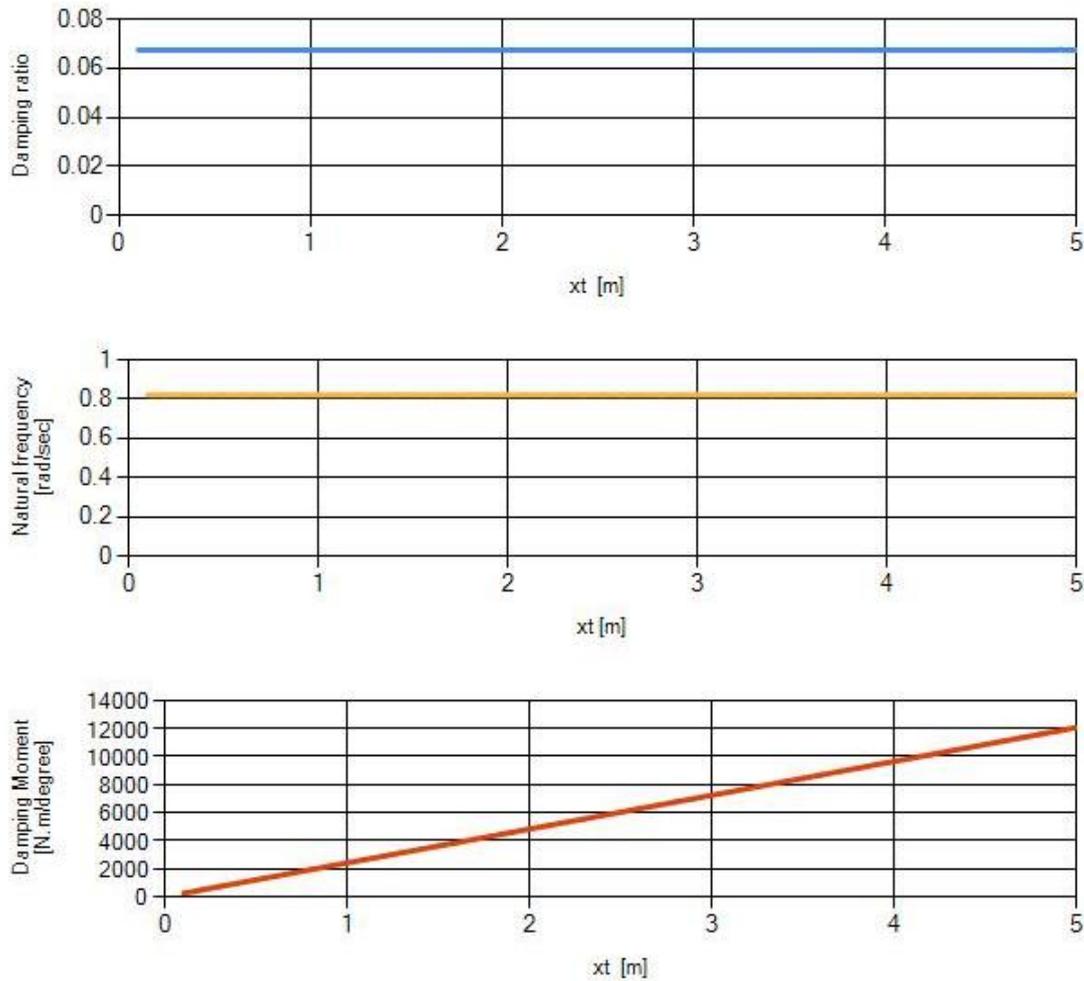
## Effect of Height of duct in U-tube reservoir

الشكل 7: تأثير تغير ارتفاع القناة بين الخزانات الجانبية  $hd$ 

يتبين من الشكل (7) ان لارتفاع القناة تأثير كبير على نسبة التخميد والتردد الطبيعي للخزان. تتزايد نسبة عزم التخميد حتى قيمة معينة ثم يبدأ بالتناقص، يمكن الاستفادة من تأثير ارتفاع القناة لتغيير تردد الخزان اثناء التصميم مع مراعاة الفراغ المتاح في السفينة.

### خامساً: تأثير تغير طول الخزان $x_t$

Effect of length of the tank



الشكل 8: تأثير تغير طول الخزان  $x_t$

يظهر الشكل (8) أن طول الخزان لا يؤثر على كل من تردد الخزان ونسبة التخميد ولكن له تأثير كبير على نسبة عزم التخميد حيث تؤدي زيادة طول الخزان إلى زيادة عزم التخميد الناتج عنه، لذلك يمكن استخدام هذه الخاصية لزيادة نسبة عزم التخميد إلى سعة التأرجح مع الانتباه لاختيار مكان الخزان بحيث لا يتقاطع مع القواطع العرضية الكتية في السفينة.

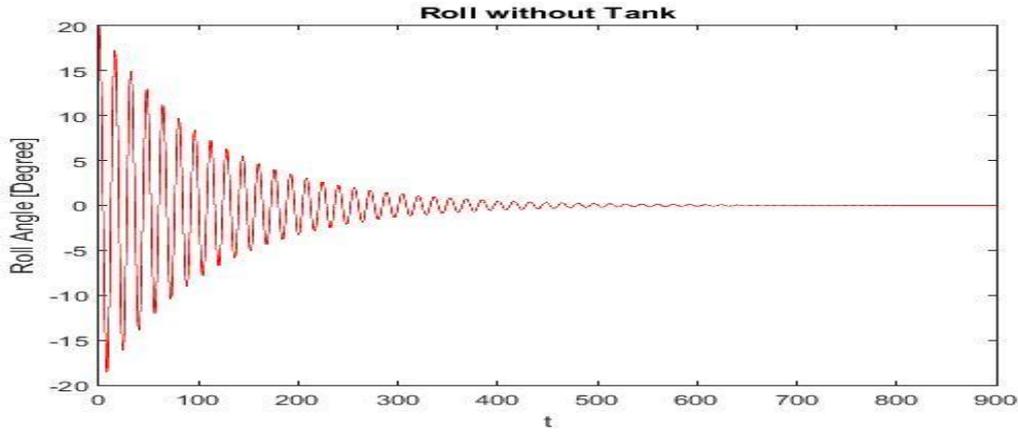
#### - دراسة استجابة السفينة

تم استخدام برنامج التصميم الأمثل المقترح لتحديد أبعاد الخزان وتم إدخال نتائج التصميم إلى معادلة حركة السفينة (20) ومعادلة الخزان (21) وباستخدام برنامج Matlab تم حل جملة المعادلتين لدراسة استجابة السفينة، حيث سيتم مناقشة الحالات التالية:

#### أولاً: تأثير الخزان على الاهتزاز الحر للسفينة

يتم إمالة السفينة بزاوية 20 درجة وتركها تهتز في مياه ساكنة حتى تتخامد حيث يتم مناقشة الحالتين التاليتين:

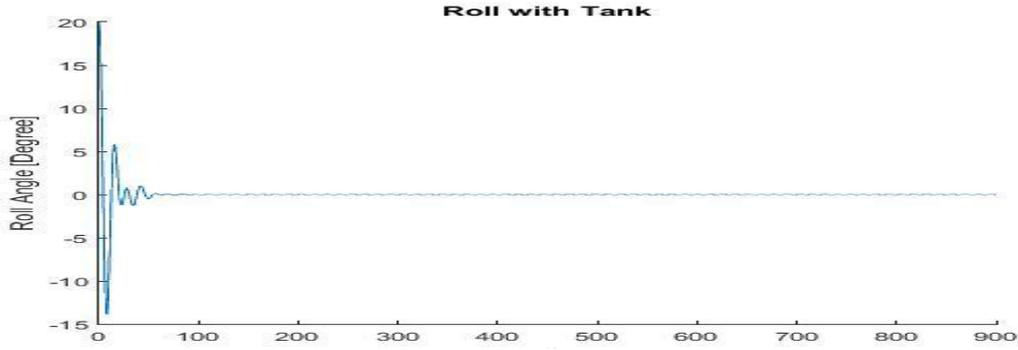
1. الاهتزاز الحر لسفينة بدون وجود خزان تخميد عند زاوية ابتدائية 20 درجة



الشكل 9: الاهتزاز الحر لسفينة بدون وجود خزان تخميد عند زاوية ابتدائية 20 درجة

نلاحظ من الشكل (9) ان حركة التآرجح تتخامد نتيجة احتكاك السفينة بالأمواج وعزم الاستبدال ولكن تستغرق نحو عشر دقائق لتستقر وهذا يعتبر وقت طويل نسبيا.

2. الاهتزاز الحر لسفينة بوجود خزان تخميد عند زاوية ابتدائية 20 درجة



الشكل 10: الاهتزاز الحر لسفينة بوجود خزان تخميد عند زاوية ابتدائية 20 درجة

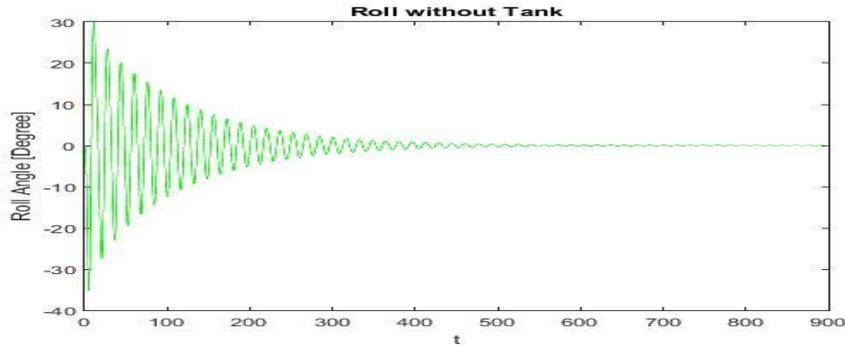
نلاحظ من الشكل (10) ان حركة التآرجح تتخامد خلال دقيقة واحدة بوجود الخزان. أي ان الخزان قدم نسبة

تخميد كبيرة واصلت السفينة الى حالة الاستقرار خلال زمن قصير.

ثانياً: تأثير تردد الأمواج الواردة على اهتزاز السفينة

عندما تتعرض السفينة للأمواج البحرية فإنها تهتز تحت تأثير العزم الناتج عن هذه الأمواج، نناقش الحالات التالية:

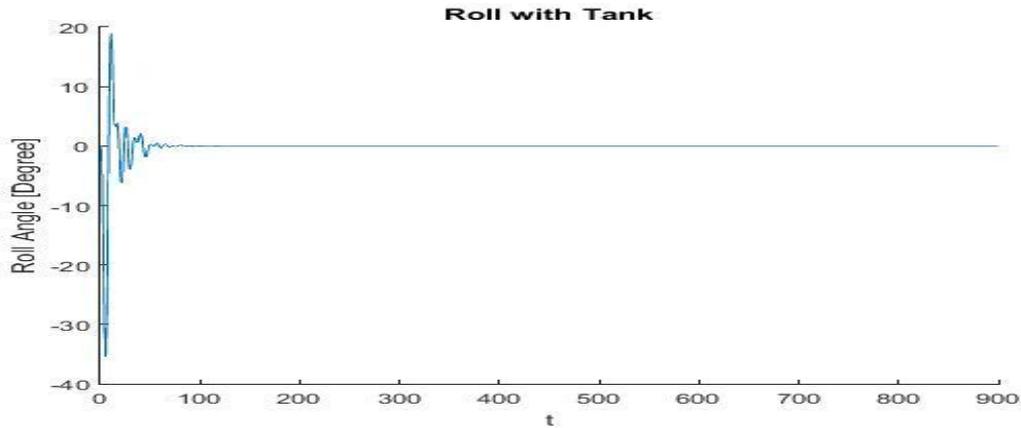
1. اهتزاز لسفينة بدون خزان تخميد عند أمواج واردة ترددها ضعفي تردد اهتزاز السفينة



الشكل 11: اهتزاز لسفينة بدون خزان تخميد عند أمواج واردة ترددها ضعفي تردد اهتزاز السفينة

يبين الشكل (11) انه عند تعرض سفينة لا تستخدم خزان تخميد للأمواج ذات تردد يساوي ضعفي تردد اهتزاز السفينة فإنها تهتز بزوايا كبيرة نسبيا لفترة طويلة تسبب خطورة على السفينة والركاب وتستمر بالاهتزاز لفترة قد تصل لخمس دقائق

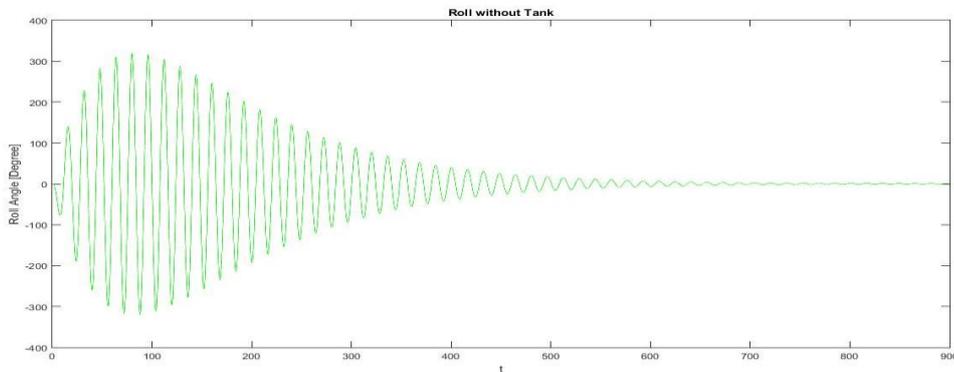
2. اهتزاز لسفينة بوجود خزان تخميد عند أمواج واردة ترددها ضعفي تردد اهتزاز السفينة



الشكل 12: اهتزاز لسفينة بوجود خزان تخميد عند أمواج واردة ترددها ضعفي تردد اهتزاز السفينة

يبين الشكل (12) انه عند تعرض سفينة تستخدم خزان تخميد للأمواج ذات تردد يساوي ضعفي تردد اهتزاز السفينة فإنها تهتز لفترة قصيرة لا تتجاوز دقيقة واحدة وبسعة اهتزاز صغيرة.

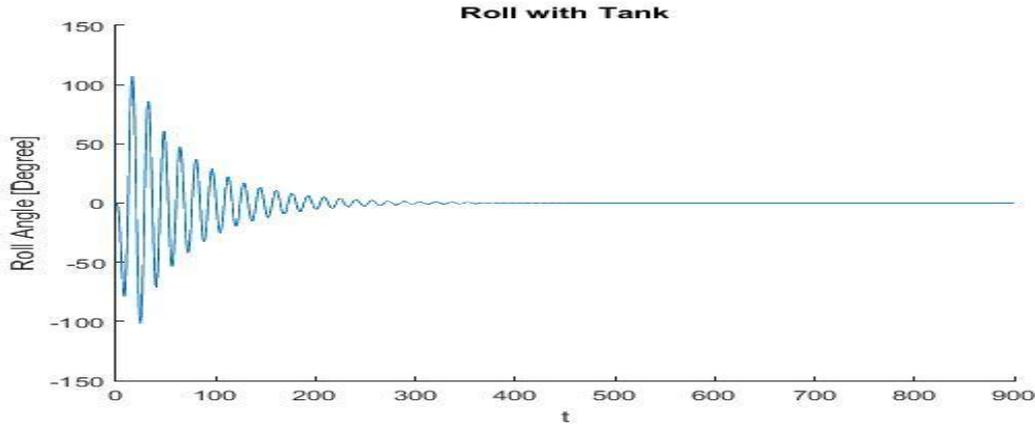
3. اهتزاز سفينة بدون خزان تخميد عند أمواج واردة ترددها يساوي تردد اهتزاز السفينة



الشكل 13: اهتزاز سفينة بدون خزان تخميد عند أمواج واردة ترددها يساوي تردد اهتزاز السفينة

يبين الشكل (13) انه عند تعرض سفينة لا تستخدم خزان تخميد للأمواج ذات تردد يساوي تردد اهتزاز السفينة فإنها تهتز بزوايا كبيرة لفترة طويلة حيث تحدث حالة طنين (توافق بين تردد الأمواج وتردد السفينة) مما يؤدي الى انقلاب السفينة.

4. اهتزاز سفينة بوجود خزان تخميد عند أمواج واردة ترددها يساوي تردد اهتزاز السفينة



الشكل 14: اهتزاز سفينة بوجود خزان تخميد عند أمواج واردة ترددها يساوي تردد اهتزاز السفينة

يبين الشكل (14) انه عند تعرض سفينة تستخدم خزان تخميد لأمواج ذات تردد يساوي تردد اهتزاز السفينة فإنها تهتز بزوايا كبيرة ولكن أصغر من حالة عدم وجود خزان ولفترة أقصر أي ان الخزان يقلل من تأثير حادثة الطنين.

### الاستنتاجات والتوصيات:

- الهدف الأساسي من البحث تطوير خوارزمية لإيجاد البارامترات المثلى لخزان التخميد بحيث يعطي أفضل تخميد ممكن لحركة التآرجح العرضية، وتمّ التوصل للنتائج التالية:
- بعد دراسة حركة التآرجح العرضي وحركة السائل في الخزان، تمّ التوصل الى شروط تصميم الخزان وتبين ان العامل الرئيسي في عملية التصميم هو اختيار التردد الطبيعي للخزان بحيث يكون مساويا تقريبا لتردد اهتزاز السفينة (لتجنب حدوث حالتي طنين في حركة السفينة) على ان يعطي أكبر عزم تخميد ممكن مع مراعاة شروط السطح الحر للخزان.
- وتبين أن التردد الطبيعي يتناقص مع ازدياد العرضين  $W$  و  $W_2$  ويزداد مع عمق القناة  $hd$ ، لذلك يمكن الاعتماد على هذه البارامترات في اثناء تصميم الخزان الأمثل لضبط تردد الخزان.
- ومن الجدير بالذكر ان نسبة عزم التخميد تتناسب طرديا مع طول الخزان  $xt$  لذلك يمكن زيادة طول الخزان لزيادة عزم التخميد الناتج.
- لارتفاع السائل في الخزان تأثير صغير على التردد الطبيعي للخزان، ولكن على اعتبار ان ارتفاع السائل في الخزان هو البارامتر الوحيد الذي يمكن تعديله بعد تركيب الخزان في السفينة فإنه يمكن الاستفادة من هذا التأثير في تغيير تردد الخزان عند ورود أمواج ذات تردد مساوي لتردد السفينة للتقليل من تأثير حالة الطنين. مع الاشارة انه غير كافي للتغلب على حالة الطنين ولذلك لا بد من ايجاد طرق أكثر فعالية لتغيير خصائص الخزان مثل تطبيق عوائق التدفق في القناة.
- أداء الخزان يكون اعظمي عند ترددات الورد البعيدة عن تردد السفينة اما عندما يكون تردد الأمواج الواردة مساوي لتردد اهتزاز السفينة ينتج حالة طنين تؤدي الى ازدياد سعة الاهتزاز لذلك لا بد من إيجاد طريقة لتحسين أداء التخميد في مجال تلك إضافة مضخة في القناة او حواجز مناسبة لتتحكم في عملية التدفق بين الخزان اليميني والخزان اليساري.

### References:

- [1] MOALEJI, R. *On the development of ship anti-roll tanks*. Elsevier, USA, 2006, 19.
- [2] KULA, K. *An Overview of Roll Stabilizers and Systems for Their Control*. Transnav, Poland, 2015, 10.
- [3] AHMED, F. A; RAGAB, S. A. *Roll stabilization by anti-roll passive tanks*. Ocean Engineering, USA, 1999, 14.
- [4] MOALEJI, R. *Adaptive control for ship roll stabilization using anti-roll tanks*. UK, 2006, 211.
- [5] KOBYLINSKI, L. K; KASTNER, S. *Stability and Safety of Ship*. Elsevier, USA, 2003, 412.
- [6] WINDÉN, B. *Anti Roll Tanks in Pure Car and Truck Carriers*. Germany, 2009, 62.
- [7] M. Lloyd, *Seakeeping: Ship behaviour in rough weather*. EllisHorwood Limited, England, 1989.
- [8] H. Schneekluth, V. Bertram, *Ship Design for Efficiency and Economy*, Butterworth, Heinemann, 1998.