

دراسة ظاهرة دوران السفينة على المزلق المائل خلال المرحلة الأولى من الإنزال العرضي (الجانبى)

الدكتور ميشيل بريهان *

(تاريخ الإيداع 18 / 6 / 2008. قُبل للنشر في 8/10/2008)

□ الملخص □

تُعتبر دراسة وتحليل سلوك السفينة في أثناء إنزالها عرضياً من على مزلق مائل نحو الماء من المسائل ذات الأهمية الخاصة، نظراً لارتباط ذلك باحتمال نشوء بعض الحالات الخطرة كظاهرة دوران السفينة على المزلق المائل خلال المرحلة الأولى للإنزال العرضي. هذه الظاهرة قد تسبب انفصال المزالج عن سكك الإنزال وتهشمها، وبالتالي حدوث تدمير لمنشأة الإنزال الانزلاقي العرضي وإلحاق الضرر ببدن السفينة. يتضمن هذا البحث شرحاً للنموذج الرياضي المقترح والخاص بدراسة السلوك الديناميكي للسفينة خلال المرحلة الأولى من مراحل الإنزال العرضي، بغية حساب عزم مزدوجة الدوران وبالتالي حساب زاوية دورانها. تم إعداد برنامج حاسوبي بلغة (Visual Basic) لتنفيذ الحسابات وفقاً للنموذج المقترح. سمح ذلك بدراسة تأثير البارامترات الأساسية لمنشأة الإنزال الانزلاقي على زاوية دوران السفينة في أثناء حركتها على المزلق.

الكلمات المفتاحية: إنزال عرضي - مزلق عرضي - مزالج الإنزال - سكك الإنزال.

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

Studying the Phenomenon of Ship Rotation on A Slant Slipway During the First Stage of Lateral Launching

Dr. Michel BARBAHAN *

(Received 18 / 6 / 2008. Accepted 8 / 10 / 2008)

□ ABSTRACT □

Analyzing ship behaviour during lateral launching on a slant slipway towards water is considered of paramount importance due to causing some dangerous cases as the phenomenon of ship rotation on a slant slipway during the first stage of lateral launching. This phenomenon may trigger a separation of the sliding ways from the launching ways; this leads to the structure of lateral launching being destroyed, and the ship hull being damage. This study explains the mathematical model suggested for studying the dynamic behaviour of the ship during the first stage of lateral launching in order to calculate the momentum and angle of the rotation cycle. A computer program is designed to make these calculations in accordance with the suggested model. This allows studying the impact of basic parameters of the structure of lateral launching on the angle of ship rotation during its movement on the slipway.

Keywords: Lateral Launching – Lateral Slipway – Sliding Ways – Launching Ways

* Associate Professor, Marine Engineering Department, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

مقدمة:

يتم إنزال السفن إلى الماء عادة بعد الانتهاء من بنائها، أو بعد إجراء إصلاحات أو صيانة دورية لها. يجري هذا الإنزال عادةً في ترسانات بناء وإصلاح السفن بطرق مختلفة، من أهمها وأكثرها استخداماً طريقة زلق السفينة نحو الماء من رصيف إنزال (مزلق مائل) [1].

عند إنزال السفينة عن طريق زلقها نحو الماء من مزلق مائل، ينبغي إجراء الحسابات بدقة عالية. تُجرى عادةً مثل هذه الحسابات قبل وضع أول جزء أو قطاع من بدن السفينة على المزلق. تعتبر هذه الطريقة من الإنزال خطيرة جداً، ولا يمكن التحكم بها بعد بدء عملية الإنزال، لأنها تمثل في الواقع انتقالاً تلقائياً لكتلة كبيرة جداً نحو الماء. لهذا السبب ينبغي التحضير المسبق لهذه العملية بعناية فائقة مع الأخذ بعين الاعتبار أدق التفاصيل الممكنة [1], [2].
تُميز عادةً نوعين من طرق الإنزال الانزلاقي نحو الماء وفقاً لتوضع سكك الإنزال بالنسبة لمستوي تناظر بدن السفينة المراد إنزالها، وهما الإنزال الطولي والإنزال العرضي (الجانبى).

عند استخدام الإنزال العرضي للسفن تكون السفينة موضوعة بشكل موازٍ لحافة الرصيف المائي على مزالج على امتداد طول السفينة. تكون السفينة في هذه الحالة متعامدة مع المستوي الأفقي، أي أن السفينة متوضعة على قرينة أفقية، مما يسهل عمليات التجميع التكنولوجية للبدن.

للإنزال العرضي ثلاثة أنواع هي [1], [2]:

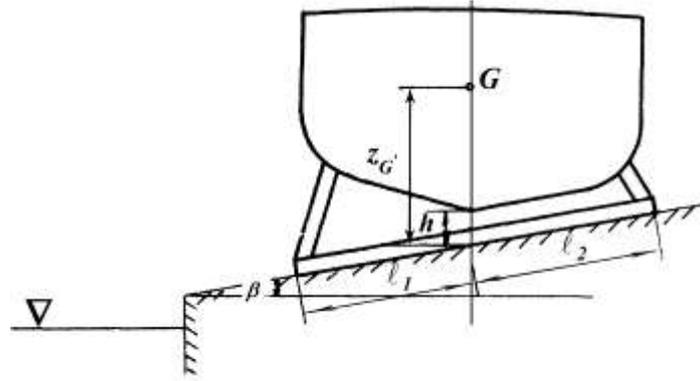
(1) الإنزال العرضي التقليدي.

(2) الإنزال العرضي على شكل قفزات.

(3) الإنزال العرضي مع قفز على سكك إنزال قابلة للدوران.

يمتد المزلق المستخدم في حالة الإنزال العرضي التقليدي لمسافة طويلة أسفل خط الماء، بحيث تنزلق السفينة على سكك الإنزال حتى تصل أخيراً إلى حالة الطفو الكلي كما في الإنزال الطولي. يُستخدم هذا النوع لإنزال الوحدات ذات الوزن الكبير بالنسبة لواحدة الطول (الأحواض العائمة). يجب أن يكون ميل المزلق أكبر من ميله في حالة الإنزال الطولي، لتجنب توقف الوحدة البحرية في أثناء عملية الإنزال بفعل القوى الكبيرة الناتجة عن المقاومات الهيدروليكية التي تنشأ عند الدخول في الماء [1].

في حالة الإنزال العرضي مع قفز فإن المزلق المستخدم يمتد فقط فوق سطح الماء، بحيث تكون عتبة هذا المنزلق واقعة فوق خط الماء بعدة سنتمترات. تقع نهايات سكك الإنزال فوق مستوي سطح الماء، مما يسبب قفز السفينة من عتبة المزلق باتجاه الماء خلال الإنزال العرضي (الشكل 1).

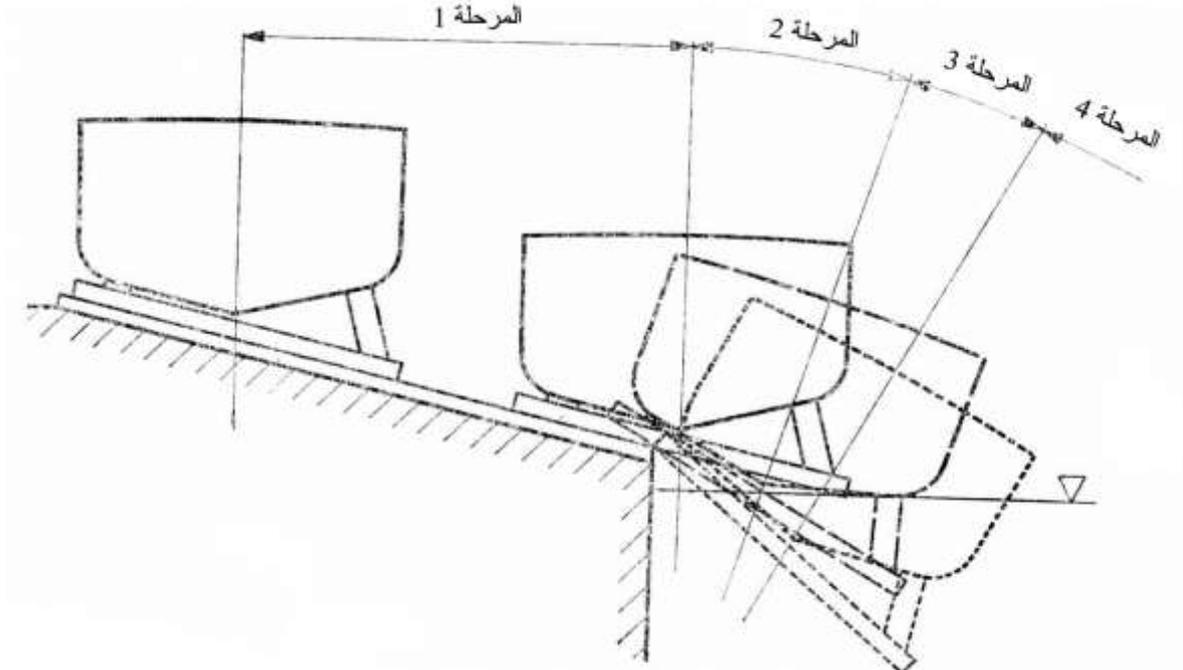


الشكل (1) توضع السفينة على المزلق المائل

تمتلك المزلق الخاصة بالإنزال العرضي مع قفز زوايا ميل أكبر بكثير من زوايا ميل المزلق المخصصة للإنزال الطولي. يتراوح ظل زاوية ميل المزلق في حدود من $1/5$ وحتى $1/15$ [3], [4].

يعتبر الإنزال العرضي للسفن مع قفز على سكة إنزال قابلة للدوران تطويراً لعملية الإنزال العرضي مع قفز. إذ تكون سكة الإنزال القابلة للدوران غير مثبتة عند الأرضية، بحيث تستطيع الدوران مفصلياً حول عتبة المزلق وهي تمتد إلى ما بعد هذه العتبة. تتم عملية القفز بسلاسة بفضل هذه السكة وتتعد السفينة بشكل كافٍ عن الرصيف مما يجنب السفينة احتمال اصطدام جانبها برصيف الإنزال عند ميلان السفينة عرضياً في الاتجاه المعاكس [5].

تقسم عملية الإنزال العرضي مع قفز إلى أربع مراحل أساسية موضحة في الشكل (2) [5]:



الشكل (2) مراحل الإنزال العرضي مع قفز

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في معالجته لإحدى القضايا الهامة الخاصة بمراكز الأبحاث البحرية وترسانات بناء السفن المتعلقة بإعداد نماذج رياضية متطورة تخص تصميم منشأة الإنزال الانزلاقي للسفن، بحيث تؤمن الإنزال العرضي الآمن نحو الماء لمجموعات معينة من السفن بعد الانتهاء من بنائها في الترسانة أو تأمين شروط الإنزال العرضي الآمن نحو الماء لسفينة ما في الحالة الاستثمارية.

تتخصر أهداف هذا البحث بما يلي:

1- إعداد نموذج رياضي خاص بدراسة ظاهرة دوران السفينة على المزلق المائل خلال المرحلة الأولى من الإنزال العرضي.

2- تنفيذ الحسابات وفق النموذج الذي تمّ إعداده بمساعدة برنامج حاسوبي، حيث تؤمن بعض المعطيات الأساسية اللازمة لإجراء الحسابات من برنامج معد بصورة مسبقة (خاص بحساب الجوائز الهندسية).

3- دراسة تأثير البارامترات الأساسية لمنشأة الإنزال الانزلاقي (عدد السكك - زاوية ميل المزلق) على زاوية دوران السفينة في أثناء حركتها على المزلق خلال المرحلة الأولى كهدف تصميمي، أو بالبحث عن شروط الإنزال العرضي الآمن نحو الماء كهدف استثماري.

طريقة البحث ومواده:

عند إنزال السفينة عرضياً نحو الماء قد تنشأ بعض الحالات الخطرة كظاهرة دوران السفينة على المزلق المائل خلال المرحلة الأولى من مراحل الإنزال العرضي، بحيث تكون سرعة إحدى نهايات السفينة أكبر من الأخرى. تسبب هذه الظاهرة انفصال المزالج عن سكك الإنزال وتَهشُمُها وبالتالي حدوث تدمير كامل لمنشأة الإنزال الانزلاق العرضي وإلحاق الضرر ببدن السفينة. قد يترافق ذلك بتوقف السفينة على المزلق، أو تتابع حركتها خلال مراحل الإنزال الأخرى ولكن تصبح عرضة لمخاطر أخرى من أهمها [1], [3]:

- اصطدام شديد لجانب السفينة أو قاعها بالماء، مما قد يؤدي إلى تصدع ألواح البدن وانفصال الآليات المثبتة عن قواعدها.
- ميلان عرضي زائد للسفينة قد يؤدي إلى انقلابها إذا كان اتزانها العرضي غير كافٍ.

دراسة وتحليل ظاهرة الدوران:

لدراسة ظاهرة دوران السفينة على المزلق المائل خلال المرحلة الأولى من مراحل الإنزال العرضي يُجرى تحليلٌ للسلوك الحركي للسفينة خلال المرحلة المعتمدة على النحو التالي:

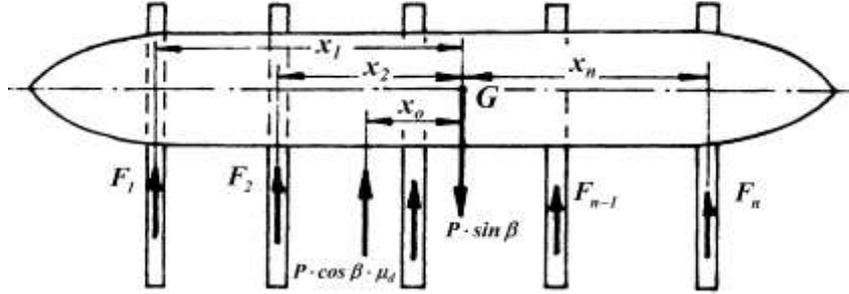
تُمثّل المرحلة الأولى من مراحل الإنزال العرضي فيزيائياً كانزلاق جسم صلب على سطح مائل. تخضع السفينة في أثناء هذه المرحلة لتأثير القوى التالية (الشكل 3):

1 - الوزن المراد إنزاله، الذي يؤثر في مركز ثقل هذا الوزن. تُحلل هذه القوة إلى مركبتين، الأولى موازية للمزلق المائل وتتجه باتجاه الحركة، وقيمتها تساوي $P \cdot \sin \beta$ ، أما المركبة الثانية فتؤثر بشكل متعامد مع المزلق وقيمتها تساوي $P \cdot \cos \beta$.

2 - رد فعل المزلق المائل. تُحلل قوة رد الفعل أيضاً إلى مركبتين، الأولى موازية للمزلق المائل وتتجه باتجاه معاكس لاتجاه الحركة. تدعى هذه المركبة قوة الاحتكاك المحصلة المتولدة بين السكك والمزالج، وتكون قيمتها مساوية لـ $P \cdot \cos \beta \cdot \mu$ ، أما المركبة الثانية فتؤثر بشكل متعامد مع المزلق.

تكون مركبات القوى المذكورة المتعامدة مع المزلق متساوية فيما بينها بالقيمة ومتعاكسة بالاتجاه، أي تكون في حالة توازن. تبدأ السفينة الحركة الانسحابية على المزلق بعد تحرير الميقات، عندما تكون مركبة الوزن الموازية للمزلق المائل أكبر من مقدار قوة الاحتكاك المحصلة المتولدة بين المزالج والسكك، أي عند تحقق الشرط التالي:

$$tg \beta > \mu_s$$



الشكل (3) توزيع القوى الموازية للمزلق المائل والمؤثرة في السفينة على امتداد طولها

بالإضافة إلى الحركة الخطية التي تؤذيها السفينة على امتداد المزلق خلال هذه المرحلة، من الممكن أن تحدث حركة دورانية حول محور متعامد مع مستوي سكك الإنزال الإنزلاقية. تحدث هذه الحركة عندما يكون خط تأثير المركبة $P \cdot \sin \beta$ غير منطبق على خط تأثير قوة الاحتكاك المحصلة $P \cdot \cos \beta \cdot \mu$ على امتداد طول السفينة، وبالتالي تكون سرعة إحدى نهايات السفينة أكبر من الأخرى. تأخذ المعادلات التفاضلية الخاصة بالحركة الخطية والدورانية الشكل التالي [4], [6]:

$$\frac{P}{g} \cdot S'' = P \cdot (\sin \beta - \mu_d \cdot \cos \beta) \quad (1)$$

$$I \cdot \delta'' = P \cdot \mu_d \cdot x_o \cdot \cos \beta \quad (2)$$

إذ إن:

P - الوزن المراد إنزاله $[t]$.

S'' - التسارع الخطي للسفينة خلال المرحلة الأولى $[m/s^2]$.

g - تسارع الجاذبية الأرضية $[m/s^2]$.

δ'' - التسارع الزاوي للسفينة $[rad/s^2]$.

x_o - ذراع عزم الدوران $[m]$ الذي يُمثل المسافة الأفقية بين مركز ثقل السفينة ونقطة تأثير قوة الاحتكاك

المحصلة بين السكك والمزالج (الشكل 3).

μ_d - عامل الاحتكاك الديناميكي.

I - عزم عطالة كتلة السفينة بالنسبة لمحور متعامد مع مستوي سكك الإنزال الإنزلاقية، ومار من مركز ثقل

السفينة $[t \cdot m \cdot s^2]$. يمكن وبدقة كافية اعتبار أن هذا العزم يساوي عزم عطالة كتلة السفينة بالنسبة للمحور العرضي

المار من خلال مركز ثقل السفينة $I = I_y$. يُحدد هذا العزم بمعلومية منحنى مساحات المقاطع العرضية للسفينة على

امتداد طولها وفقاً لعلاقة **Krylow** التالية [4]:

$$I_y = I_o + \frac{P \cdot L^2}{60 \cdot g} \quad (3)$$

إذ:

$$I_o = I'_o - \frac{P}{g} \cdot x_G^2 \quad (4)$$

$$I'_o = \frac{\gamma}{g} \cdot \int_L x^2 \cdot S_{wr} \cdot dx \quad (5)$$

إذ إن:

I_o - عزم العطالة المُحدَّد من منحنى مساحات المقاطع العرضية بالنسبة للمحور العرضي المار بمركز ثقل السفينة.

I'_o - عزم العطالة المُحدَّد من منحنى مساحات المقاطع العرضية بالنسبة للمحور العرضي المار بالمستوي القطاعي العرضي المنصف.

S_{wr} - مساحة المقطع العرضي المعتبر.

x - بعد المقطع العرضي المعتبر عن المستوي القطاعي العرضي المنصف.

x_G - بعد مركز ثقل السفينة عن المستوي القطاعي العرضي المنصف.

L - طول السفينة.

γ - الوزن النوعي للماء.

تعطي العلاقة (3) قيمة تقريبية عالية نسبياً لـ I_y بسبب معامل التصحيح $\frac{1}{60} \cdot P \cdot L^2$ المقابل للخطأ الأعظمي

المرتكب عند استبدال منحنى توزع الأوزان بمنحنى مساحات المقاطع العرضية [4].

أيضاً يمكن تحديد عزم عطالة كتلة السفينة بالنسبة للمحور العرضي المار من مركز ثقل السفينة I_y باستخدام العلاقات التقريبية التالية [4]:

$$I_y = 0.07 \cdot \frac{\alpha}{g} \cdot P \cdot L^2 \quad (6)$$

$$I_y = \frac{P}{g} \cdot (0.24 \cdot L)^2 \quad (7)$$

إذ إن:

α - معامل امتلاء سطح الطفو للسفينة المعتبرة.

تُعطي العلاقة (6) قيمة تقريبية مقبولة نسبياً [4]، لذلك تمَّ استخدامها عند إجراء الحسابات وفق النموذج الرياضي المقترح في هذا البحث.

يتعلق عامل الاحتكاك المشار إليه سابقاً بنوعية الشحوم المستخدمة لتغطية سلك الإنزال بغية إنقاص الاحتكاك المتولد بين هذه السلك والمزلج، بحيث تتمكن السفينة من الانزلاق من المزلق نحو الماء بسلاسة. تتعلق خواص الشحوم المستخدمة بدرجة الحرارة والضغط المتولدة، وتنخفض عادة خواص هذه الشحوم عند تعرضها لضغوط عالية. عادة تختلف قيمة عامل الاحتكاك السكوني μ_s عن قيمة عامل الاحتكاك الديناميكي μ_d الذي يستخدم في الحسابات في أثناء حركة السفينة. تتراوح قيم هذه العوامل ضمن الحدود التالية [3]:

$$\mu_s = 0.03 \div 0.08$$

$$\mu_d = 0.018 \div 0.05$$

تتعلق قيم هذه العوامل بمقدار ضغط المزلج على سلك الإنزال. تحدد قيم هذه العوامل بصورة تقريبية كتابع للضغط وفقاً للجدول التالي [3]:

الجدول (1) عامل الاحتكاك في أثناء الإنزال

$q [t / m^2]$	μ_s	μ_d
30.0	$0.030 \div 0.038$	$0.018 \div 0.030$
20.0	$0.037 \div 0.045$	$0.025 \div 0.038$
10.0	$0.050 \div 0.080$	$0.033 \div 0.050$

تتعلق قيم هذه العوامل أيضاً بدرجة حرارة الهواء. عادة تؤخذ القيم المنخفضة لعوامل الاحتكاك عند درجات الحرارة العالية، في حين تؤخذ القيم العالية عند درجات الحرارة المنخفضة. يمكن تحديد عامل الاحتكاك الديناميكي أيضاً باستخدام العلاقات التقريبية التالية بدلالة الضغط على واحدة السطوح [4]:

$$\mu_d = \frac{0.05}{\sqrt{q}} \quad (8)$$

$$\mu_d = \frac{0.044}{\sqrt{q}} \quad (9)$$

أو من علاقة **Bubnow** [4]:

$$\mu_d = 0.063 - 0.022 \cdot q + 0.003 \cdot q^2 \quad (10)$$

إذ q الضغط على واحدة السطوح $[kg_f / cm^2]$.

إن العلاقات التقريبية المتعلقة بحساب μ_d هي نتائج لأبحاث تجريبية عديدة. إن معظم المراجع العلمية في هذا المجال تستخدم العلاقة (8) في الحسابات التطبيقية [1]، [2]، [4]، لذلك تم استخدامها عند إجراء الحسابات وفق النموذج الرياضي المقترح في هذا البحث.

تسمح المعادلة (1) بتحديد تسارع السفينة الخطي خلال هذه المرحلة كما يلي:

$$S'' = g \cdot (\sin \beta - \mu_d \cdot \cos \beta) \quad (11)$$

تُحدد سرعة السفينة بدلالة المسافة المقطوعة بعد حذف الزمن وافترض ثابت قيمة التسارع وفقاً للعلاقة التالية:

$$S' = \sqrt{2 \cdot g \cdot (\sin \beta - \mu_d \cdot \cos \beta)} \quad (12)$$

يسمح حل كل من المعادلتين التفاضليتين (1) و(2) بتحديد العلاقة التي تربط زاوية الدوران δ بالمسافة المقطوعة S_I خلال المرحلة الأولى [6]، [7]:

$$\delta = \frac{S_I \cdot x_o \cdot P}{I_y \cdot g \cdot \left(\frac{tg \beta}{\mu_d} - 1 \right)} \quad (13)$$

تتعلق زاوية الدوران المسموح بها بالمسافة الفاصلة بين سلك الإنزال. يمكن اعتبار هذه الزاوية مساوية تقريباً لـ $[rad] 0,003$ [6], [7], [8].

تسمح العلاقة (13) بتحديد المسافة المسموح بها بين مركز ثقل السفينة ونقطة تأثير محصلة قوى الاحتكاك عند قيمة محددة مسموح بها لزاوية الدوران.

لتحديد نقطة تأثير قوة الاحتكاك المحصلة، ينبغي تحديد الضغوط الواحدية التي تنشأ عند كل مزلاج من المزالج المستخدمة. تُحدّد هذه الضغوط بعد تحديد قوى ردود الأفعال المؤثرة في كل مزلاج من المزالج المستخدمة وفقاً للعلاقة التالية:

$$q_i = \frac{R_i \cdot \cos \beta}{\ell \cdot b} \quad (14)$$

إذ إن: R_i - قوة رد الفعل الشاقولي عند المزلاج المفروض، ℓ - طول المزلاج، b - عرض المزلاج. بما أن عامل الاحتكاك يتعلق بصورة رئيسة بالضغوط الواحدية، لذلك تُحدد قيم عامل الاحتكاك الخاص بكل مزلاج من المزالج μ_{di} وفقاً للعلاقة المعتمدة (8).

يُحدد عامل الاحتكاك الوسطي لمجمل المزالج كما يلي (الشكل 3):

$$F = \sum_{i=1}^n F_i$$

ومنه:

$$\mu_d = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{di} \cdot R_i}{\sum_{i=1}^n R_i} \quad (15)$$

أما ذراع عزم الدوران فيُحدد كما يلي (الشكل 3):

$$x_o \cdot F = \sum_{i=1}^n x_i \cdot F_i$$

ومنه:

$$x_o = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \mu_{di} \cdot R_i}{\sum_{i=1}^n \mu_{di} \cdot R_i} \quad (16)$$

إذ إن:

$$F_i = \mu_{di} \cdot R_i \cdot \cos \beta \quad \text{قوة الاحتكاك عند كل مزلاج من المزالج } [t]$$

$$F = \mu_d \cdot R \cdot \cos \beta \quad \text{قوة الاحتكاك المحصلة أثناء الحركة } [t]$$

$$R = \sum_{i=1}^n R_i = P \quad \text{قوة رد الفعل الشاقولي المحصل } [t]$$

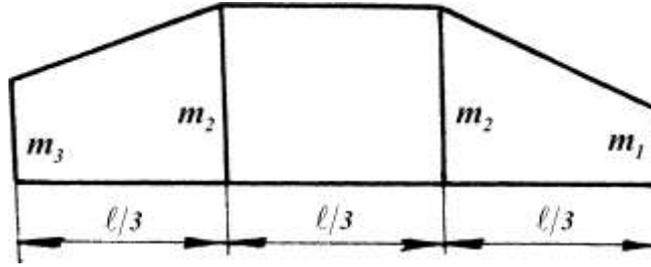
$$x_i \quad \text{بعد مركز ثقل السفينة عن محور كل مزلاج من المزالج المستخدمة } [m]$$

إذا كانت قيمة الذراع x_0 المحددة وفقاً للعلاقة (16) أكبر من القيمة المسموح بها، ينبغي عندها توزيع وزن السفينة بصورة مناسبة عن طريق استخدام خزانات الصابورة، بحيث تصبح قيمة هذا الذراع x_0 أقل من القيمة المسموح بها والمحددة استناداً للعلاقة (13).

لتحديد رد الفعل عند كل مزليج من المزالج ينبغي أن يكون معلوماً منحنى توزيع الوزن على امتداد طول السفينة. في حال عدم توفر مثل هذا المنحني فإن توزيع الوزن يُحدد بطريقة تقريبية. بالنسبة للسفن التجارية ذات القطاع الأوسط ثابت المقطع يمكن اعتبار أن وزن السفينة موزع خطياً كما هو مبين في الشكل (4). تُحدد الإحداثيات الرأسية لهذا المنحني كما يلي [3]:

$$y_{m_i} = m_i \cdot \frac{P}{L} \quad (17)$$

إذ m_i معامل جدولي خاص بالإحداثيات الرأسية الأساسية للمنحني المفروض، وهو يُحدد كما في الجدول (2).



الشكل (4) منحنى توزيع الوزن على امتداد طول السفينة التجارية

الجدول (2) قيم معاملات الإحداثيات الرأسية الأساسية لمنحني توزيع الوزن

المعامل الجدولي	سفن تجارية نحيلة	سفن تجارية ممثلة
m_1	0.567	0.567
m_2	1.195	1.174
m_3	0.653	0.706
بعد مركز الثقل عن المستوي القطاعي العرضي المنصف باتجاه المؤخرة	$0.0052 \cdot L$	$0.0017 \cdot L$

عندما يصبح منحنى توزيع الوزن معلوماً، يمكن تحديد القوى المؤثرة عند كل مزليج من المزالج بشكل تقريبي من دون صعوبات تذكر، طالما أن موضع هذه المزالج غير مفروض بصورة مسبقة. في هذه الحالة تُوزع المزالج بصورة تقريبية. تعتمد فكرة التوزيع على تجزئة المساحة الكلية الواقعة أسفل منحنى توزيع الوزن إلى مساحات جزئية مقابلة للمزالج المستخدمة، إذ إن مركز ثقل كل مساحة من هذه المساحات يقع أعلى المزلج المفروض. وبالتالي فإن المساحة الواقعة أعلى المزلج المفروض تُمثل القوة المؤثرة فيه [3],[4],[6].

إذا كانت مواضع المزالج محددة بصورة مسبقة يمكن عندها تحديد ردود أفعال المزالج باستخدام معادلات العزم الثلاثة المعروفة في علم مقاومة المواد.

تنتهي المرحلة الأولى من مراحل الإنزال العرضي عند بدء دوران السفينة حول عتبة المزلق. يبدأ هذا الدوران عادةً عند مرور خط عمل محصلة قوة النقالة وقوة العطالة فوق عتبة المزلق. أي بعد تجاوز مستوي التناظر عتبة المزلق بمسافة مقاسة عند الحافة السفلى للمزالج مقدارها r تُحدد وفقاً للعلاقة التالية [7]:

$$r = \frac{z_{G'} \cdot S''}{g} \quad (18)$$

حيث: $z_{G'}$ - البعد الشاقولي لمركز ثقل السفينة عن الحافة العليا لسكك الإنزال.

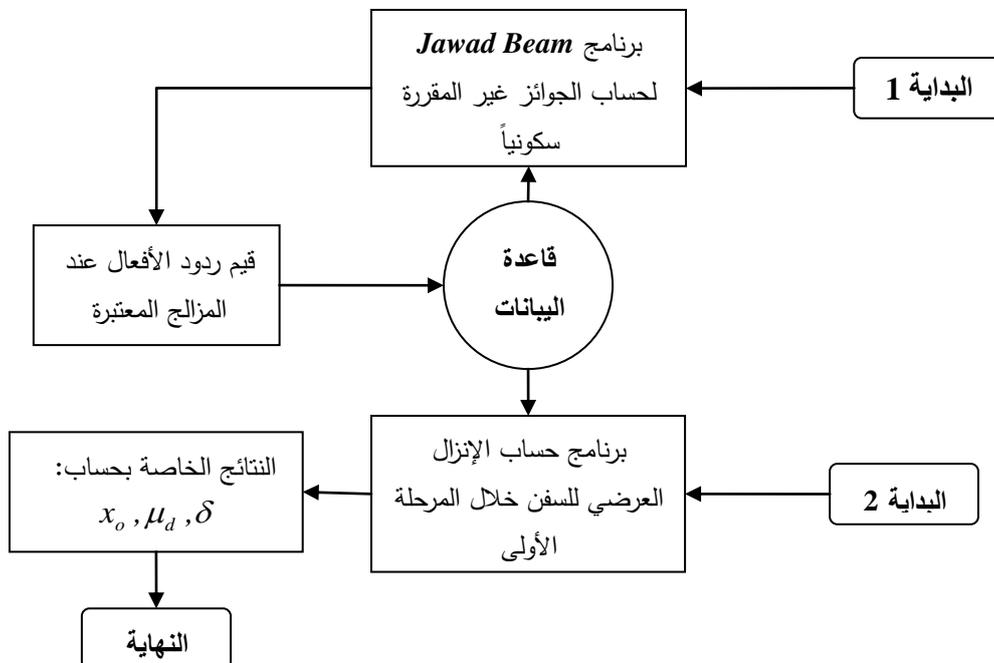
وبالتالي تُحدد المسافة المقطوعة خلال المرحلة الأولى كما يلي:

$$S_1 = S_o + r = S_o + \frac{z_{G'} \cdot S''}{g} \quad (19)$$

إذ: S_o - بُد مستوي تناظر السفينة عند بدء الحركة عن الحافة الأمامية للمزلق.

النتائج والمناقشة:

استناداً للنموذج الرياضي المقترح لدراسة ظاهرة دوران السفينة خلال المرحلة الأولى من مراحل الإنزال العرضي، تم إعداد برنامج بلغة *Visual Basic*. يعمل هذا البرنامج بشكل مشترك مع برنامج آخر يُدعى *Jawad Beam* الخاص بدراسة وتحليل الجوائز الهندسية، إذ يُتيح هذا البرنامج حساب ردود أفعال المزلاج على سكك الإنزال للجمل غير المعينة سكونياً باستخدام معادلات العزوم الثلاثة، وفقاً لمنحني توزيع الوزن المقترح على امتداد طول السفينة. يبين الشكل (5) المخطط العام للبرامج المستخدمة في دراسة ظاهرة دوران السفينة خلال المرحلة الأولى من مراحل الإنزال العرضي.



الشكل (5) المخطط العام للبرامج المستخدمة في دراسة ظاهرة دوران السفينة خلال المرحلة الأولى من مراحل الإنزال العرضي

تمّ في هذا البحث دراسة تأثير البارامترات الأساسية لمنشأة الإنزال الانزلاقي (عدد السكك - زاوية ميل المزلق) على زاوية دوران السفينة في أثناء حركتها على المزلق خلال المرحلة الأولى، والتي تُحدد بدلالة عامل الاحتكاك الوسطي لمجمل المزلج μ_d وذراع عزم الدوران x_o . تم إجراء هذه الدراسة على نوعين من السفن: الأول يخص السفن الممتلئة، أما الثاني فيخص السفن النحيلة، وذلك بسبب اختلاف قيم مخطط توزع الوزن على امتداد طول السفينة وفقاً لحالة امتلاء بدن السفينة، كما هو موضح سابقاً. يبين الجدول (3) والجدول (4) البارامترات الأساسية الخاصة بالسفينة الممتلئة والنحيلة مع المزلج على التوالي [1].

الجدول (3) المعطيات الخاصة بالسفينة الممتلئة مع المزلج

$P = 10000 [t]$	وزن السفينة
$L = 130 [m]$	طول السفينة
$B = 17 [m]$	عرض السفينة
$H = 11 [m]$	الارتفاع الجانبي للسفينة في المستوي القطاعي العرضي المنصف
$Cb = 0.75$	معامل امتلاء البدن
$\alpha = 0.82$	معامل امتلاء سطح الطفو
$\ell = 20 [m]$	طول المزلج
$b = 0.7 [m]$	عرض المزلج
$z_G = 7.32 [m]$	بعد مركز ثقل السفينة عن المستوي الأساسي
$h = 1 [m]$	بعد المستوي الأساسي عن الحافة السفلى للمزلج في مستوي التناظر
$S_o = 25 [m]$	بعد مستوي التناظر عن عتبة المزلق عند بداية الحركة
$x_G = 0.0017 \cdot L [m]$	بعد مركز ثقل السفينة عن المستوي القطاعي العرضي المنصف باتجاه المؤخرة
$\tan \beta = \left(\frac{1}{5} \div \frac{1}{15} \right)$	ظل زاوية ميل المزلق العرضي

الجدول (4) المعطيات الخاصة بالسفينة النحيلة مع المزلج

$P = 1000 [t]$	وزن السفينة
$L = 70 [m]$	طول السفينة
$B = 7.85 [m]$	عرض السفينة
$H = 4.8 [m]$	الارتفاع الجانبي للسفينة في المستوي القطاعي العرضي المنصف
$Cb = 0.465$	معامل امتلاء البدن
$\alpha = 0.695$	معامل امتلاء سطح الطفو
$\ell = 9 [m]$	طول المزلج

$b = 0.4 [m]$	عرض المزالج
$z_G = 2.8 [m]$	بعد مركز ثقل السفينة عن المستوي الأساسي
$h = 1 [m]$	بعد المستوي الأساسي عن الحافة السفلى للمزالج في مستوي التناظر
$S_o = 25 [m]$	بعد مستوي التناظر عن عتبة المزلق عند بداية الحركة
$x_G = 0.0052 \cdot L [m]$	بعد مركز ثقل السفينة عن المستوي القطاعي العرضي المنصف باتجاه المؤخرة
$\tan \beta = \left(\frac{1}{5} \div \frac{1}{15} \right)$	ظل زاوية ميل المزلق العرضي

يبين الجدولان (5) و(6) قيم ردود الأفعال عند المزالج المتوضعة على سلك الإنزال على امتداد طول السفينة بالنسبة للسفينة الممتلئة والسفينة النحيلة على التوالي عند حالات مختلفة لعدد المزالج المستخدمة n . حُددت قيم ردود الأفعال باستخدام برنامج **Jawad Beam** الخاص بالجمال غير المعينة سكونياً باستخدام معادلات العزوم الثلاثة. تم استخدام مخطط توزيع الوزن على امتداد طول السفينة وفقاً للشكل (4) والجدول (2)، وتم توزيع المزالج بحسب عددها المفروض، بشكل متساوٍ ومتناظر بالنسبة للمستوي القطاعي العرضي المنصف للسفينة الممتلئة على مسافة مقدارها L/n (إذ L طول السفينة و n عدد المزالج). يبين الشكل (3) رسماً تخطيطياً لتوضع السفينة الممتلئة أو النحيلة مع مزالجها على سلك الإنزال الإنزلاقية عند إحدى الحالات المدروسة ($n = 5$)، حيث رُقمت المزالج اعتباراً من مؤخرة السفينة باتجاه المقدمة. يُقاس بعد كل مزلج من المزالج عن موقع مركز ثقل السفينة المعتبر قياساً جبرياً، مع اعتماد الإشارة السالبة فقط للأذرع الواقعة خلف مركز الثقل باتجاه المؤخرة بغية تمييز اتجاه الدوران الحاصل لعزوم القوى حول مركز ثقل السفينة G .

الجدول (5) قيم ردود الأفعال عند المزالج بحسب عددها المفروض للسفينة الممتلئة

R_{10} [t]	R_9 [t]	R_8 [t]	R_7 [t]	R_6 [t]	R_5 [t]	R_4 [t]	R_3 [t]	R_2 [t]	R_1 [t]	R_i n
								4793.98	5154.35	2
							2901.54	3874.87	3171.84	3
						1996.82	2867.51	2836.54	2247.43	4
					1496.24	2135.79	2415.65	2149.68	1732.11	5
				1210.86	1671.89	1975.25	1977.77	1707.42	1405.27	6
			1011.85	1334.39	1675.09	1673.08	1682.22	1387.21	1184.48	7
		868.88	1098.84	1419.55	1471.63	1468.18	1437.11	1160.89	1023.23	8
	760.65	930.96	1207.29	1308.11	1302.97	1306.02	1234.85	996.5	900.95	9
675.79	807.09	1035.46	1164.88	1175.09	1175.09	1165.69	1072.01	873.11	804.09	10

الجدول (6) قيم ردود الأفعال عند المزالج بحسب عددها المفروض للسفينة النحيلة

R_{10} [t]	R_9 [t]	R_8 [t]	R_7 [t]	R_6 [t]	R_5 [t]	R_4 [t]	R_3 [t]	R_2 [t]	R_1 [t]	R_i n
								488.86	511.17	2
							292.92	397.55	309.64	3
						201.49	291.71	289.79	217.02	4
					152.28	217.74	245.67	218.39	165.93	5
				121.84	169.92	201.07	201.22	172.12	133.87	6
			101.73	135.44	170.43	170.39	170.87	138.72	112.42	7
		87.31	111.39	144.38	149.78	149.57	145.45	115.23	96.89	8
	76.42	94.28	122.69	133.18	132.59	133.05	124.39	98.33	85.11	9
67.85	81.67	105.14	118.56	119.61	119.61	118.66	107.39	85.76	75.79	10

يبين الشكلان (6) و (7) منحنيات تغير زاوية دوران السفينة في أثناء حركتها على المزلق خلال المرحلة الأولى بقيمتها المطلقة (من دون الأخذ بعين الاعتبار اتجاه دوران السفينة في أثناء الحركة) كتابع لعدد المزالج المتوضعة على سلك الإنزال على امتداد طول السفينة عند عدة قيم لزاوية ميل المزلق بالنسبة للسفينة الممثلة والسفينة النحيلة على التوالي. تمّ تحديد موضع كل نقطة من نقاط هذه المنحنيات بالنسبة للسفينة الممثلة والنحيلة عند قيمة معينة لزاوية ميل المزلق β وعدد مفروض للمزالج n باستخدام العلاقة (13) الخاصة بحساب زاوية الدوران δ بعد تحديد القيم التالية: عزم العطالة I_y باستخدام العلاقة التقريبية (6)، المسافة المقطوعة من قبل السفينة خلال المرحلة الأولى S_1 وفق العلاقة (18)، عامل الاحتكاك الديناميكي الوسطي لمجمل المزالج μ_d وفق العلاقة (15) وذراع عزم الدوران x_o وفق العلاقة (16)، وذلك بعد تحديد قيم ردود الأفعال كما هو مبين من الجدول السابق.

يُلاحظ من هذه الأشكال ما يلي:

- تزداد زاوية دوران السفينة في أثناء حركتها على المزلق خلال المرحلة الأولى بشكل مطرد مع ازدياد عدد المزالج المتوضعة على سلك الإنزال، على امتداد طول السفينة الممثلة أو النحيلة، بغض النظر عن قيمة زاوية ميل المزلق.
 - تزداد زاوية دوران السفينة في أثناء حركتها على المزلق خلال المرحلة الأولى بشكل مطرد مع تناقص زاوية ميل المزلق، عند عدد معين للمزالج المتوضعة على سلك الإنزال على امتداد طول السفينة الممثلة أو النحيلة.
 - إن السفن النحيلة تكون أكثر عرضة للدوران أثناء حركتها على المزلق خلال المرحلة الأولى، بزوايا كبيرة نسبياً قد تكون أكبر من زاوية الدوران المسموح بها $[\delta]$ ، بالمقارنة مع حالة السفن الممثلة.
- بالنسبة لمنشأة إنزال عرضي مفروضة (مبنية بصورة مسبقة) تتكون من سلك إنزال تفصل بينها مسافات ثابتة، فإن السفن ذات الأبعاد الكبيرة (الطويلة أو الضخمة) تتطلب عدداً أكبر من المزالج المتوضعة على سلك الإنزال على امتداد طول السفينة في أثناء الإنزال مقارنة مع السفن الصغيرة. هذا يعني وفقاً للنتائج المذكورة أعلاه أن السفن الطويلة

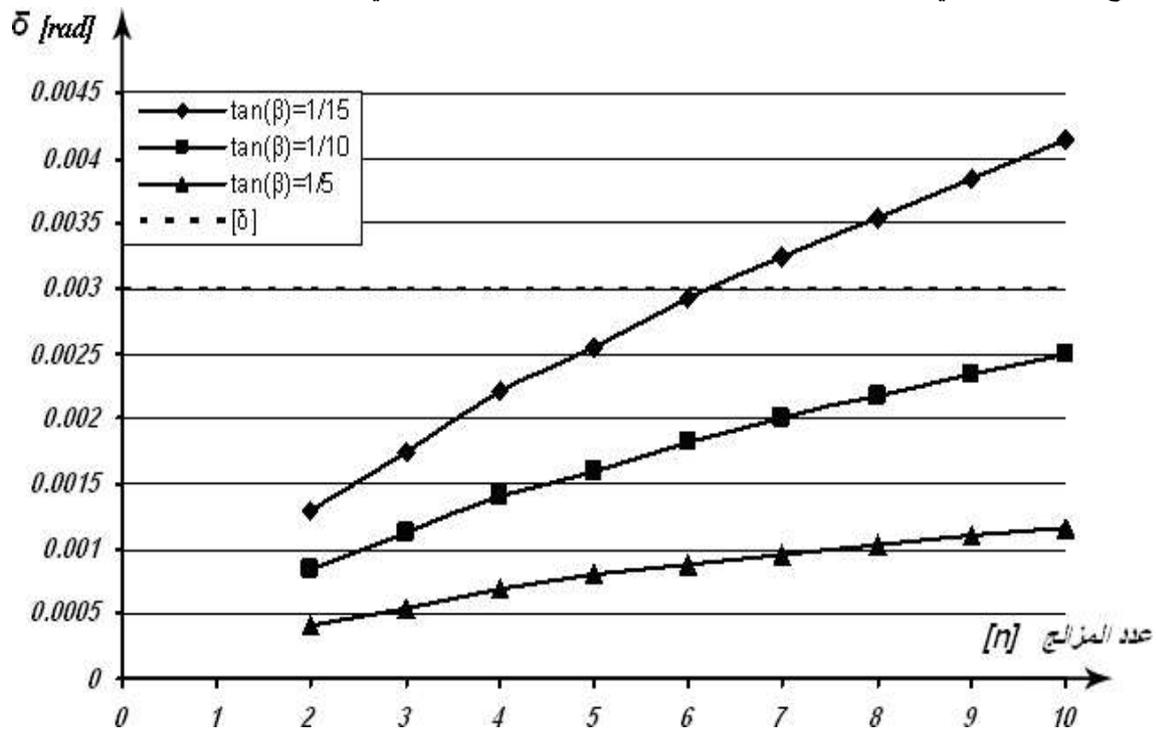
تكون أكثر عرضة للدوران في أثناء حركتها على المزلق بزوايا كبيرة نسبياً، قد تكون أكبر من زاوية الدوران المسموح بها $[\delta]$ ، بالمقارنة مع حالة السفن الصغيرة. هذا الاستنتاج هو في الواقع منطقي، لأنه كلما كانت السفينة أضخم أو أطول، فإن بارامتراتها الطولية ستزداد بما في ذلك ذراع عزم الدوران x_0 ، الأمر الذي يؤدي إلى ازدياد زاوية دوران السفينة في أثناء حركتها على المزلق خلال المرحلة الأولى. لهذا السبب يُفضل تصميم منشأة الإنزال العرضي المخصصة لإنزال مجموعات معينة من الوحدات البحرية بحيث يتحقق الشرطان التاليان:

1- زاوية ميل المزلق ينبغي أن تكون أكبر ما يمكن.

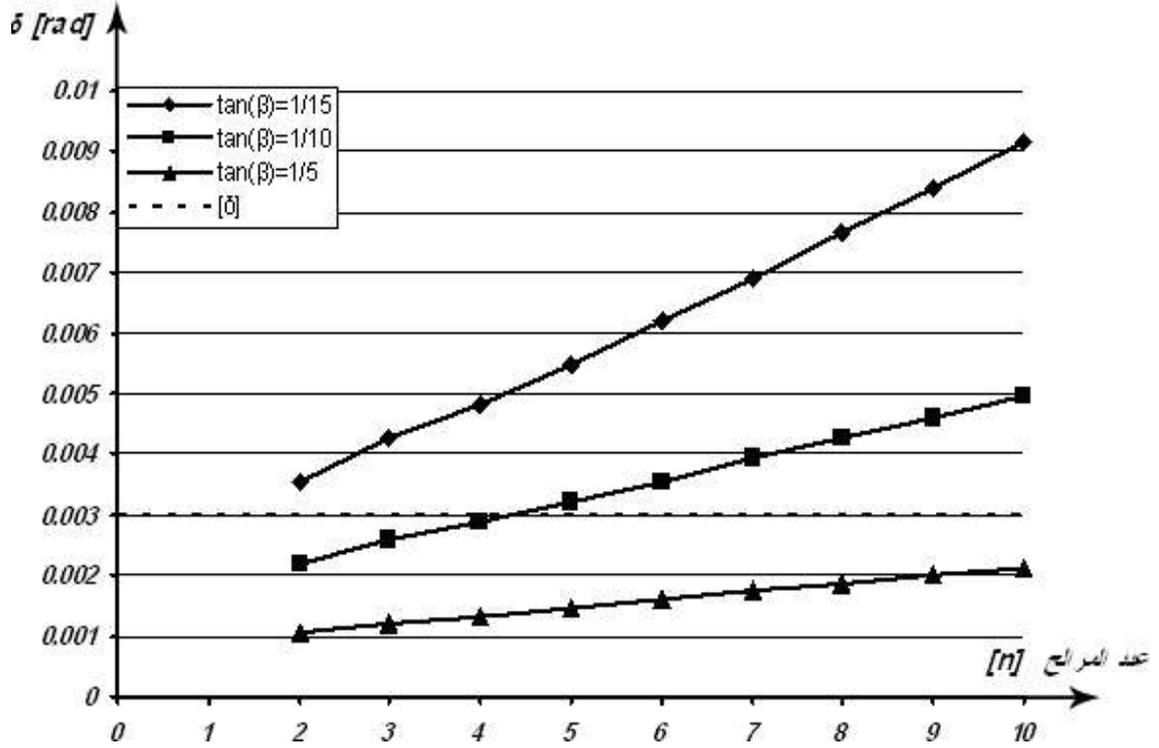
2- عدد المزالج المتوضعة على سكك الإنزال على امتداد طول السفينة ينبغي أن يكون أقل ما يمكن.

يسمح ذلك بتلافي التأثير السلبي لظاهرة الدوران قدر الإمكان، شريطة ألا تؤثر قوى ردود الأفعال المركزة عند

المزالج بصورة سلبية في البنية الإنشائية لبدن السفينة وفقاً لمتطلبات الشرط الثاني.



الشكل (6) منحنيات تغير زاوية دوران السفينة כתابع لعدد المزالج المتوضعة على سكك الإنزال على امتداد طول السفينة عند عدة قيم لزاوية ميل المزلق بالنسبة للسفينة الممتلئة



الشكل (7) منحنيات تغير زاوية دوران السفينة كتابع لعدد المزالج المتوسطة على سلك الإنزال على امتداد طول السفينة عند عدة قيم لزاوية ميل المزلق بالنسبة للسفينة النحيلة

من جهة أخرى يمكن الاستفادة من البرمجيات المعدة في هذا البحث كهدف استثماري يتعلق بالبحث عن شروط الإنزال العرضي الآمن نحو الماء، المتعلقة بالتوزيع المناسب لأوزان السفينة المعتبرة وبتوضع المزالج على سلك الإنزال على امتداد طول السفينة. إن البحث عن شروط الإنزال العرضي الآمن نحو الماء يعني تحضير السفينة بشكل مناسب للإنزال العرضي بتكرار العمليات الحسابية مرات عديدة باستخدام البرمجيات المعدة، بغية الوصول إلى أفضل وضعية للإنزال، بحيث تصبح قيم x_0 و δ أصغر ما يمكن عن طريق التحكم بـ:

- 1- موضع مركز ثقل السفينة x_G على امتداد طول السفينة باستخدام مياه الصابورة.
- 2- توضع المزالج على سلك الإنزال بالنسبة للمستوي القطاعي العرضي المنصف للسفينة عن طريق إزاحة السفينة على امتداد المزلق المائل العرضي.

ينبغي الإشارة إلى أنه بالإمكان أيضاً الاستفادة من مياه الصابورة في خزانات القاع السفلية للسفينة لتحسين اتزانها عن طريق تخفيض موقع مركز ثقل السفينة، لوقايتها من الانقلاب بفعل الميلان العرضي الحاصل في مراحل الإنزال الأخرى.

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- تعتبر عملية إنزال السفن عن طريق زلقها نحو الماء من مزلق مائل من العمليات الخطيرة جداً، إذ لا يمكن التحكم بها بعد بدء عملية الإنزال لأنها تمثل في الواقع انتقالاً تلقائياً لكتلة كبيرة جداً نحو الماء، بحيث يكون دور العنصر البشري عبارة عن مراقب عديم التأثير على مسار آلية الإنزال.
- 2- تُمثل عملية الإنزال العرضي ظاهرة ديناميكية تُدرس استناداً لمعادلات الحركة التفاضلية المعروفة في علم الديناميك.
- 3- قد ترافق عملية الإنزال العرضي بعض الحالات الخطرة كظاهرة دوران السفينة على المزلق المائل خلال المرحلة الأولى من مراحل الإنزال العرضي. تسبب هذه الظاهرة حدوث تدمير لمنشأة الإنزال الانزلاقي العرضي، وإلحاق الضرر ببدن السفينة وقد يترافق ذلك بتوقف السفينة على المزلق، أو استمرار حركتها خلال مراحل الإنزال الأخرى ولكنها تصبح عرضة لمخاطر أخرى.
- 4- أظهرت نتائج دراسة ظاهرة دوران السفينة على المزلق المائل خلال المرحلة الأولى ما يلي:
 - تزداد شدة ظاهرة دوران السفينة في أثناء حركتها على المزلق خلال المرحلة الأولى، مع تناقص زاوية ميل المزلق العرضي وتزايد عدد المزالج الحاملة للسفينة خلال عملية الإنزال العرضي الذي يتعلق بالمسافة المعتبرة بين سلك الإنزال لمنشأة الإنزال العرضي، أو بطول أو بضخامة السفن المراد إنزالها.
 - تكون السفن النحيلة أكثر عرضة للدوران في أثناء حركتها على المزلق خلال المرحلة الأولى بزوايا كبيرة نسبياً قد تكون أكبر من زاوية الدوران المسموح بها $[\delta]$ بالمقارنة مع حالة السفن الممتلئة.
 - تكون السفن الطويلة أو الضخمة أكثر عرضة للدوران في أثناء حركتها على المزلق بزوايا كبيرة نسبياً قد تكون أكبر من زاوية الدوران المسموح بها $[\delta]$ ، بالمقارنة مع حالة السفن القصيرة أو الصغيرة. لهذا السبب يفضل استخدام طريقة الإنزال العرضي لإنزال الوحدات البحرية الصغيرة كالقواطر وسفن الصيد، وأيضاً سفن البحار الداخلية والأنهار التي تتميز أصلاً بمتانة إنشائية طولية ضعيفة لا تسمح لها باعتماد الإنزال الطولي كوسيلة للإنزال.
- 5- بالنسبة للتوصيات يُفضل استخدام البرمجيات المعدة في هذا البحث كهدف استثماري يتعلق بالبحث عن شروط الإنزال العرضي الآمن نحو الماء عن طريق التحكم: بموقع مركز ثقل السفينة باستخدام مياه الصابورة، وأيضاً بتوضع المزالج على سلك الإنزال بالنسبة للمستوي القطاعي العرضي المنصّف عن طريق إزاحة السفينة على امتداد المزلق العرضي المائل.

المراجع:

- 1- STALIŃSKI, J . *Teoria Okrętu* , Wydawnictwo Morski, Gdańsk 1979, 507.
- 2- DUDZIAK, J . *Teoria Okrętu* , Wydawnictwo Morski , Gdańsk 1988, 618.
- 3- FRĄCKOWIAK, M. *Statyka Okrętu* , Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1999, 239.
- 4- KRĘŻLEWSKI, M. *Zbiór Zadań Z Teorii okrętu* , Panstwowe Wydawnictwo Naukowe , Poznan 1987, 247.
- 5- ROMAN, J ; ROGUSKI, S. *Zarys Budowy Okrętu* , Wydawnictwo Morski, Gdańsk 1976, 602.
- 6- SEMYONOV, T. *Statics and Dynamics of the Ship "Theory of Buoyancy, Stability and Launching"* , Moscow 1996, 584.
- 7- ZDYBEK, T . *Hydromechaniczne Zagadnienia Projektowania Wodowania Boczego na Podstawie Danych Doświadczalnych*, Wydawnictwo Morski, Gdańsk 2002.
- 8- WALCZAK, J; ZDYBEK, T. *Badania Modelowe Wodowania Boczego Statkow*, Wydawnictwo Morski, Gdańsk 2002.