

Design Caisson Breakwaters in the Syrian Coast Based on Goda Equations

Dr. Amal Haidar*
Mutaz Mohammad Aljaseem**

(Received 15 / 10 / 2023. Accepted 4 / 1 / 2024)

□ ABSTRACT □

Ports are exposed to forces that differ from other facilities, to maintain its performance and effectiveness, the engineering designs of facilities must be carefully studied, Protection facilities are considered one of the most important elements of the port because they provide a safe water area in which loading and unloading operations are perfect, designs for this type of breakwaters have been deduced at five different depths according to the expected wave heights in the Syrian coast.

The research dealt with the design of breakwaters facilities such as caisson breakwater type, due to its many advantages in protection ports. the design dimensions, pressures, forces, and moments resulting from the impact of waves on the breakwater were calculated, which helped to study the stability factors on sliding and overturning, as well as the bearing capacity of the rubble foundation at the base of the caisson block, and the study showed that the facilities according to the proposed designs are safe and capable of providing protection in the Syrian coast.

Keywords: Breakwaters – Design – Protection – Caisson – Pressure – Stability – Sliding – Overturning.

Copyright



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

* Associate Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria, amalhaidar11959@gmail.com

**Master student, Department Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria, mutaz99jaseem@gmail.com

تصميم حواجز أمواج قيسونية في الساحل السوري استناداً إلى معادلات Goda

د. امال حيدر*

معتز محمد الجاسم**

(تاريخ الإيداع 15 / 10 / 2023. قُبل للنشر في 4 / 1 / 2024)

□ ملخص □

تتعرض المرفأئ لقوى تختلف عن غيرها من المنشآت الأخرى، وللحفاظ على أدائها وفعاليتها يجب دراسة التصاميم الهندسية لمنشآت الحماية بشكل دقيق، تعتبر منشآت الحماية من أهم عناصر المرفأ لما تقدمه من تأمين مساحة مائية هادئة، تتم فيها عمليات الشحن والتفريغ على أكمل وجه، وقد تم استنتاج تصاميم لهذا النوع من الحواجز عند خمسة أعماق مختلفة وفق ارتفاعات الأمواج المتوقعة في الساحل السوري. تناول البحث تصميم منشآت حواجز الأمواج من نوع حاجز أمواج قيسوني، لما لها من مميزات عديدة في حماية المرفأئ، وتم حساب الأبعاد التصميمية والضغوط والقوى والعزوم الناتجة عن تأثير الأمواج على الحاجز، مما ساعد على دراسة عوامل الاستقرار على الانزلاق والانقلاب، وكذلك قدرة تحمل الأساس الركامي عند قاعدة كتلة القيسون وتبين من الدراسة أن المنشآت وفق التصاميم المقترحة آمنة وقادرة على تأمين الحماية في الساحل السوري.

الكلمات المفتاحية: حواجز الأمواج - تصميم - حماية - قيسونات - ضغوط - استقرار - انزلاق - انقلاب.

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



CC BY-NC-SA 04

*أستاذ مساعد-قسم المائية والري-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية - سورية amalhaidar11959@gmail.com
**طالب ماجستير-قسم المائية والري-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية mutaz99jasem@gmail.com

مقدمة:

تعمل حواجز الأمواج (Breakwaters) على حماية المرافئ من حركة الأمواج وتساهم في تحديد و/أو تأمين مساحة مائية هادئة، بحيث تجري عمليات شحن وتفريغ البضائع ورسو السفن ومناورتها بأمان. يقع الساحل السوري في الجزء الشمالي الغربي من الأراضي السورية حيث يمتد من حدود الأراضي اللبنانية جنوباً حتى رأس البسيط شمالاً ويمتد في محافظتين رئيسيتين هما اللاذقية وطرطوس على طول خط النظر ضمن الحوض الشمالي الشرقي للبحر المتوسط.

تُعرّف القيسونات على أنها منشآت مانعة لتسرب الماء، ولكن أيضاً لأغراض أكثر أهمية تعتبر جزءاً من هياكل أكبر مثل حواجز الأمواج أو الأساسات البحرية لبعض المنشآت الخاصة وذلك لما تتمتع به من مميزات عديدة أهمها أنه تتبع في تصميمها أسس علمية أكثر دقة مقارنة مع أنواع أخرى من حواجز الأمواج، ونظراً لصغر قطاع القيسون مقارنة بقطاع الحاجز الركامي فإنه لا يشغل حيزاً كبيراً، وبالتالي يعطي مساحة مائية أكبر ويعطي اتساعاً أقل عند سطح الماء وبالتالي حماية أكبر للساحة المائية، وكذلك يمكن استعمالها لرسو السفن من الداخل، كما أن فترة العمل في البحر من أجل الإنشاء أقل بكثير عما تستلزمه الأنواع الأخرى، وإذا لم تتوفر المحاجر للحصول على الأحجار الطبيعية أو كانت بعيدة في هذه الحالة تصبح الحواجز القيسونية أقل تكلفة ووقت إنشاء، كما أن هذا النوع من الحواجز لا يتطلب نفقات صيانة باهظة.

انطلاقاً من أهمية منشآت الحماية ودورها الأساسي والمحوري في تأمين حماية المرافئ جرت دراسة منشآت حواجز الأمواج القيسونية عند أعماق مختلفة ووضع تصاميم هندسية تسمح لهذه المنشآت القيام بوظائفها على أكمل وجه [1,2].

الدراسات المرجعية

قام (حيدر؛ إبراهيم، 2003) بتصنيف منشآت الحماية بحسب تأثيرها على نظام التموج إلى:

- عاكسة للأمواج عندما تتعكس كل طاقة الموجة (بالنسبة للمنشآت الشاقولية) أو القسم الأكبر منها (للمنشآت غير المصمتة) عن عناصر المنشأة وتنتشر على شكل أمواج ذات اتجاه معاكس.
- مخدمة للأمواج وهي التي تؤمن تخادم طاقة الموجة بالكامل في منطقة توضع عناصر المنشأة.
- مختلطة عندما يحصل انعكاس جزئي لطاقة الأمواج وتخادم للجزء المتبقي [2].

وضّح (بلوط، 2003) أهمية متوسط ارتفاع الثلث الأعلى من الأمواج في دراسة وتصميم كافة المنشآت الشاطئية وبناء عليه نستنتج قيمة ارتفاع الموجة التصميمية، وذلك بعد إجراء التعديلات اللازمة من تأثير الضحالة أو الالتواء أو كليهما معاً [3]، ودرس (sekiguchi & ohmaki, 1992) انقلاب حاجز الأمواج القيسوني بسبب التحميل الموجي العالي وتوصلا في دراستهم إلى أنه عند مستوى التحميل العالي تميل القيسونات إلى التعرض للفشل [4,5,6]، وركزا (Goda & Takagi, 2000) على أهمية نسبة عمق الماء إلى ارتفاع الموجة الهام للتحكم في التصميم الموثوق لحاجز الأمواج [7].

بيّنت (Maccarini, 2004) من خلال دراستها سلوك حاجز الأمواج القيسوني الناجم عن حركة الموجة أهمية تأثير الجوانب الجيوتقنية على حواجز الأمواج [8,9]، وقام (Cuomo, 2007) بدراسة تأثير الأمواج على حواجز الأمواج القيسونية، وتوصل إلى أن تكسر الأمواج يمثل مصدر الضرر الأكثر شيوعاً للحواجز القيسونية وذلك عن طريق ما تسببه من إجهادات قص وانزلاق وانقلاب [10].

درس (Zhang et al., 2009) استقرار حاجز الأمواج القيسوني تحت تأثير الأمواج المنكسرة وقاموا بدراسة إزالة الحاجز القيسوني بسبب التحميل الموجي، حيث بيّنت نتائج الدراسة أن الحركات الرأسية والأفقية تزداد تدريجياً مع زيادة تأثيرات الأمواج المنكسرة [11,12,13]، وأجرى (Esteban et al., 2011) دراسة حول تغير الضغط الذي تسببه الأمواج على حاجز قيسوني لمحاكاة انزلاق القيسونات وبنيتجة هذه الدراسة قاموا بإدخال تعديلات على طريقة (Goda) [14].

وأجرى (Yu et al., 2020) دراسة لتحديد ظروف الموجة للبدء بعمليات تركيب القيسونات في أعماق مياه أكبر من (30-35) متر في الساحل الإفريقي، فتم أخذ ثلاثة أشكال هندسية بالحسبان وأكدوا على ضرورة تقييم ومقارنة التفاعل الهيدروديناميكي [15].

قام (Martinlli & Lamberti, 2011) بدراسة الاستجابة الديناميكية للتصميم الأوروبي والتصميم الياباني وكانت نتائج التصميم الأوروبي أكثر حساسية [16].

أهمية البحث وأهدافه:

أهداف البحث

الوصول إلى تصاميم حواجز أمواج قيسونية تؤمن الحماية ضد الأمواج التي يتعرض لها الساحل السوري.

أهمية البحث

تأمين حماية المرفأء والشواطئ السورية باستخدام حواجز الأمواج القيسونية، وإمكانية استخدام هذا النوع من حواجز الأمواج عند تنفيذ الأعمال البحرية التي تحتاج إلى ظروف مناخية هادئة أثناء التنفيذ.

طرائق البحث ومواده:

- تم التوصل إلى الأبعاد التصميمية من خلال دراسة عوامل استقرار المنشأة باستخدام معادلات Goda وبالاعتماد على دليل الهندسة الساحلية (CEM) [17].

- الارتفاعات الإضافية المتوقعة في منسوب البحر هي كالتالي:

التبدلات المدية قيمتها صغيرة لا يتجاوز الارتفاع الوسطي لها 0.35m (تؤخذ 0.4m)، ويوضح الجدول (1) خصائص الموجة (ارتفاعات، دور) عند الأعماق المدروسة [18].

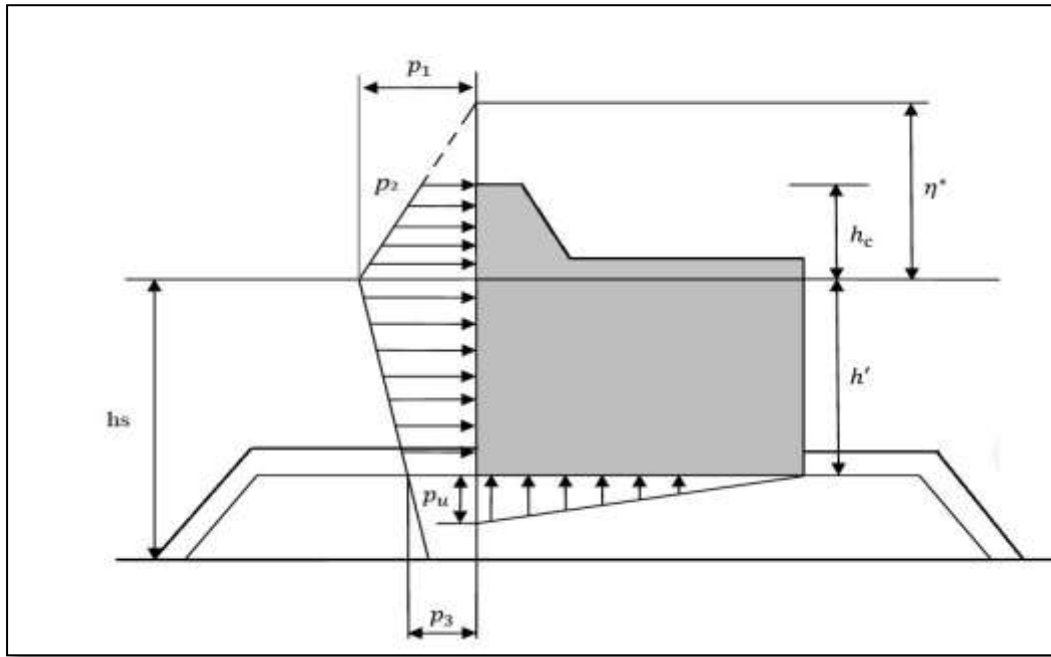
وفقاً لـ IPCC (الهيئة الدولية المعنية بتغير المناخ) الزيادة المتوقعة في منسوب سطح البحر بسبب الاحتباس الحراري حتى العام 2100 حوالي 0.5m [19].

الجدول (1) خصائص الموجة عند الأعماق المدروسة [18]

الحالة	Depth (m)	H_s (m)	H_{max} (m)	دور الموجة الهام (sec) T_s $T_s = 1.1\bar{T}$
التصميم I	-15	6.1	9.8	12.4
التصميم II	-12	5.8	8.4	12

التصميم III	-10	5.4	7.3	11.5
التصميم IV	-8	4.7	6.1	10.5
التصميم V	-6	3.9	5.1	9.4

❖ المعادلات المستخدمة في حساب الضغوط والقوى والعزوم الناتجة عن اصطدام الأمواج بالحاجز القيسوني طريقة (Goda 1974): وهي مجموعة من المعادلات يمكن من خلالها حساب الضغوط التي تؤثر على كتلة القيسون في حالة الأمواج غير المنتظمة وغير المندفعة، يوضح الشكل (1) توزيع الضغوط المؤثرة على كتلة القيسون [20,21].



الشكل (1) مخطط توزيع ضغط الموجة على حاجز الأمواج القيسوني

• يمكن حساب الضغوط المؤثرة على كتلة القيسون باستخدام العلاقات التالية:

$$p_1 = 0.5 (1 + \cos\beta) (\lambda_1 \alpha_1 + \lambda_2 \alpha^* \cos^2\beta) \rho_w g H_{\text{design}} \quad (1)$$

$$p_2 = \begin{cases} \left(1 - \frac{h_c}{\eta^*}\right) p_1 & \text{for } \eta^* > h_c \\ 0 & \text{for } \eta^* \leq h_c \end{cases} \quad (2)$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1 \quad (3)$$

$$p_u = 0.5 (1 + \cos\beta) \lambda_3 \alpha_1 \alpha_3 \rho_w g H_{\text{design}} \quad (4)$$

$$\eta^* = 0.75 (1 + \cos\beta) \lambda_1 H_{\text{design}} \quad (5)$$

حيث:

p_1 : ضغط الموجة عند منسوب الماء الساكن.

p_2 : ضغط الموجة عند قمة القيسون.

p_3 : ضغط الموجة عند قاعدة القيسون (فوق السرير الحجري).

p_u : ضغط رفع الموجة الأعظمي عند قاعدة القيسون.

η^* : المنسوب الأعلى الذي ينعدم عنده ضغط الموجة.

H_{design} : ارتفاع الموجة التصميمي (عادةً يؤخذ $1.8 H_s$).

β : زاوية اقتراب الموجة التصميمية.

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$: بارامترات Goda; α_1 لحساب تأثير فترة الموجة، و α_2 يمثل ميل الضغط إلى الزيادة مع ارتفاع الأساس الركامي، و α_3 نتيجة الاستيفاء بين α_1 و α_2 .

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$: معاملات التعديل بحسب نوع الهيكل، من أجل الحواجز الرأسية تؤخذ جميعها مساوية (1).

$$\alpha_1 = 0.6 + 0.5 \left[\frac{4\pi h_s/L}{\sinh(4\pi h_s/L)} \right]^2 \quad (6)$$

$$\alpha_2 = \text{the smallest of } \begin{cases} \frac{h_b-d}{3 h_b} \left(\frac{H_{design}}{d} \right)^2 \\ \frac{2 d}{H_{design}} \end{cases} \quad (7)$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h_w-h_c}{h_s} \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h_s/L)} \right] \quad (8)$$

$$\alpha^* = \alpha_2 \quad (9)$$

- في حالة الأمواج المندفعة قام (Takahashi, Tanimoto and Shimosako 1994) بتعديل صيغة (Goda)، ومن الشكل (2) يمكننا تحديد نواع أحمال الموجة الأفقية المؤثرة على جدار الحاجز الرأسي [17]:

$$\alpha^* = \max \text{ of } \alpha_2 \text{ and } \alpha_1 \quad (10)$$

$$\alpha_1 = \alpha_{I0} \cdot \alpha_{I1} \quad (11)$$

- المعامل α_{I0} يمثل تأثير ارتفاع الموجة على الركام:

$$\alpha_{I0} = \begin{cases} \frac{H_{design}}{d} & \text{for } \frac{H_{design}}{d} \leq 2 \\ 2 & \text{for } \frac{H_{design}}{d} > 2 \end{cases} \quad (12)$$

- العامل α_{I1} يمثل شكل أنقاض الركام:

$$\alpha_{I1} = \begin{cases} \frac{\cos \delta_2}{\cosh \delta_1} & \delta_2 \leq 0 \\ \frac{1}{\cosh \delta_1 \cdot (\cosh \delta_2)^{0.5}} & \delta_2 > 0 \end{cases} \quad (13)$$

$$\delta_1 = \begin{cases} 20 \cdot \delta_{11} & \text{for } \delta_{11} \leq 0 \\ 15 \cdot \delta_{11} & \text{for } \delta_{11} > 0 \end{cases} \quad (14)$$

$$\delta_{11} = 0.93 \left(\frac{B_m}{L} - 0.12 \right) + 0.36 \left(\frac{h_s-d}{h_s} - 0.6 \right) \quad (15)$$

$$\delta_2 = \begin{cases} 4.9 \cdot \delta_{22} & \text{for } \delta_{22} \leq 0 \\ 3 \cdot \delta_{22} & \text{for } \delta_{22} > 0 \end{cases} \quad (16)$$

$$\delta_{22} = -0.36 \left(\frac{B_m}{L} - 0.12 \right) + 0.93 \left(\frac{h_s-d}{h_s} - 0.6 \right) \quad (17)$$

L : طول الموجة عند عمق ماء على مسافة ($5 H_s$) من مقدمة جدار الحاجز باتجاه البحر.

h_b : عمق الماء على مسافة ($5 H_s$) من مقدمة جدار الحاجز باتجاه البحر.

d : عمق طبقة التقوية الصخرية.

B_m : عرض المصطبة الصخرية من جهة البحر.

h_w : ارتفاع القيسون الكلي.

h_c : الارتفاع الظاهر.

• القوى والعزوم المؤثرة على الحاجز القيسوني

يمكن حساب القوى والعزوم المؤثرة على كتلة القيسون باستخدام صيغ (Goda and Takahashi):

- قوة الضغط الأفقي للموجة F_H والعزم المقابل لها M_H :

$$F_H = U_{FH} \left[\frac{1}{2} (p_1 + p_2) h_c + \frac{1}{2} (p_1 + p_3) h' \right] \quad (18)$$

$$M_H = U_{MH} \left[\frac{1}{6} (2 p_1 + p_3) h'^2 + \frac{1}{2} (p_1 + p_2) h' \cdot h_c + \frac{1}{6} (p_1 + 2 p_2) h_c^2 \right] \quad (19)$$

- قوة الرفع F_U والعزم المقابل لها M_U :

$$F_U = U_{FU} \frac{1}{2} p_u \cdot B \quad (20)$$

$$M_U = U_{MU} \frac{1}{3} p_u \cdot B^2 \quad (21)$$

- القوة الناتجة عن الانخفاض في وزن كتلة القيسون الناتج عن الطفو F_G والعزم المقابل لها M_G :

$$F_G = \rho_c \cdot g \cdot B \cdot h_w - \rho_w \cdot g \cdot B \cdot h' \quad (22)$$

$$M_G = \frac{1}{2} B^2 \cdot g (\rho_c h_w - \rho_w h') \quad (23)$$

ρ_c : كثافة المنشأة (كثافة مركبة من الخرسانة والرمل في حال كانت الحشوة من الرمل).

U_{FH} : متغير يدل على عدم اليقين والتحيز المتعلق بالقوة الأفقية.

U_{FU} : متغير يدل على عدم اليقين والتحيز المتعلق بقوة الرفع.

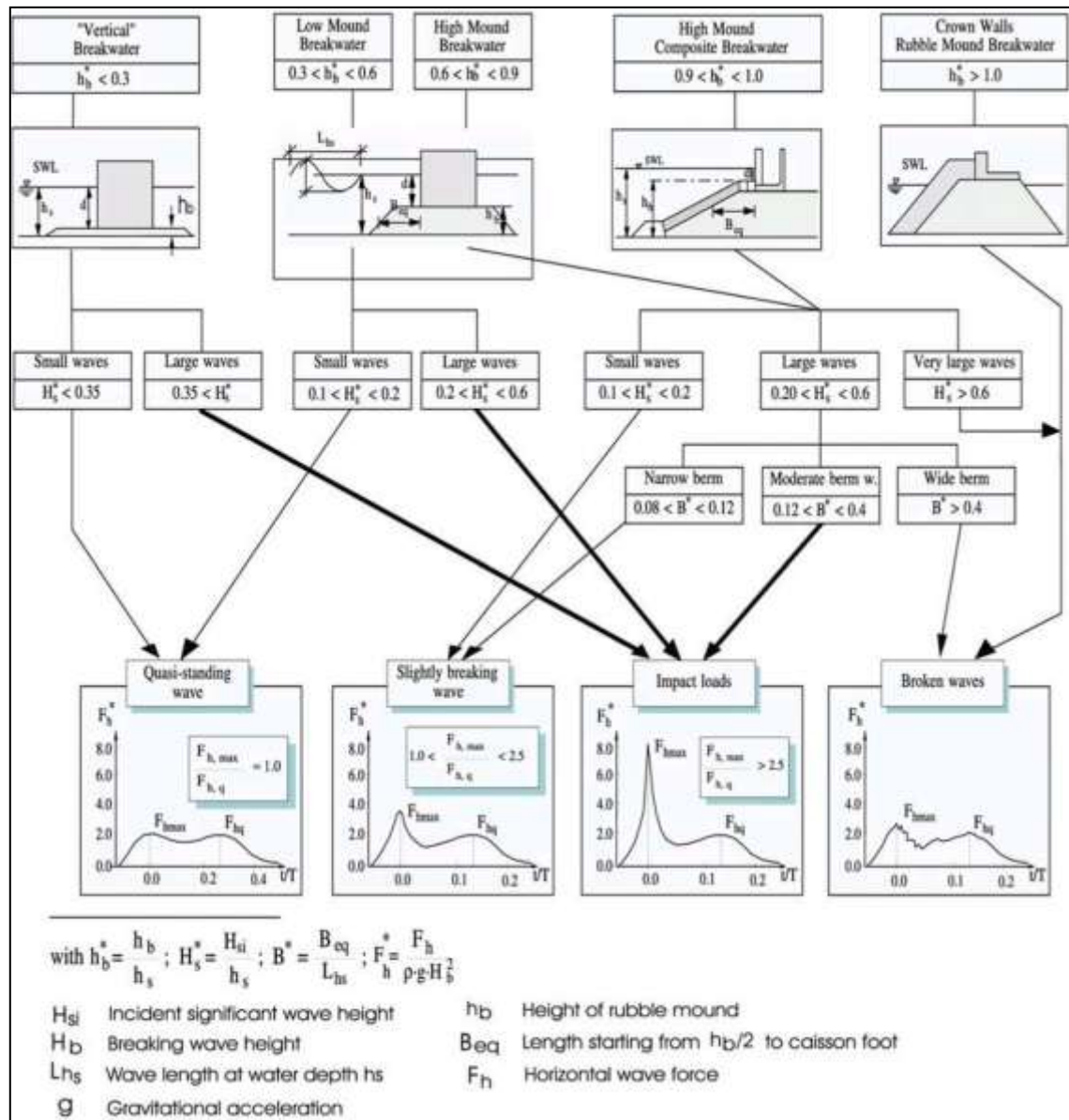
U_{MH} : متغير يدل على عدم اليقين والتحيز في العزم الأفقي.

U_{MU} : متغير يدل على عدم اليقين والتحيز في عزم الرفع.

يمكن استخدام القيم الوسطية للمتغيرات العشوائية (متغيرات عدم اليقين والتحيز في حساب القوى والعزوم) المدرجة في الجدول (2).

الجدول (2) المتغيرات العشوائية لحساب القوى والعزوم، تم اشتقاقها في المعهد الهيدروليكي الدنماركي و Delft Hydraulics

Stochastic variable	Mean value	no model tests		model test performed	
		Stand. dev. σ_{Xi}	$\frac{\sigma_{Xi}}{\mu_{Xi}}\%$	Stand. dev. σ_{Xi}	$\frac{\sigma_{Xi}}{\mu_{Xi}}\%$
U_{FH}	0.90	0.25	0.22	0.05	0.055
U_{FU}	0.77	0.25	0.32	0.05	0.065
U_{MH}	0.81	0.40	0.49	0.10	0.12
U_{MU}	0.72	0.37	0.51	0.10	0.14



الشكل (2) مخطط تحديد نوع أحمال الموجة الأفقية على جدار الحاجز الرأسي [19]

• قدرة تحمل الأساس للضغط عند كعب كتلة القيسون:

يتم حساب الضغط الأعظمي (p_e) الذي يمارس عند كعب كتلة القيسون على النحو التالي:

$$p_e = \begin{cases} \frac{2 \cdot W_e}{3 \cdot t_e} & : \text{if } t_e \leq \frac{1}{3} B \\ \frac{2 \cdot W_e}{B} \left(2 - 3 \frac{t_e}{B} \right) & : \text{if } t_e > \frac{1}{3} B \end{cases} \quad (24)$$

$$t_e = \frac{M_e}{W_e} \quad (25)$$

$$W_e = F_G - F_U \quad (26)$$

$$M_e = M_G - M_U - M_H \quad (27)$$

W_e : القوة العمودية الصافية.

M_e : العزم الصافي حول كعب كتلة القيسون.

t_e : ذراع عزم القوة العمودية الصافية.

بعد معرفة الضغط (p_e) يتم التحقق فيما إذا كان أكبر أو أصغر من الضغط الأقصى المسموح به تبعاً لنوع التربة (P_{max})، يجب أن يكون ضغط التحميل عند كعب القيسون أقل من (400 إلى 500 Kpa) ويمكن أن يزيد إلى (600 Kpa) أو أكثر، وذلك بازدياد أعماق المياه التي تقام فيها المنشأة وبازدياد وزن كتلة القيسون [20].

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- تم حساب أبعاد الكتل القيسونية عند أعماق مياه مختلفة، ووفق ارتفاعات أمواج مختلفة.
- يجب تقسيم مسار الحاجز إلى قطاعات على أساس له نفس المنسوب وأن يكون لها نفس الارتفاع بمعنى أن كل القيسونات يجب أن تكون متشابهة في القطاع الواحد.
- وضع ردمية تحت القيسونات لجعلها تأخذ نفس المنسوب، وللسماح بتصريف ضغط المسامات الكبير.
- استخدم سرير حجري من الركام، بالإضافة إلى كتل مصطبية لدعم كتلة القيسون المملوءة بالخرسانة والرمال.
- بفرض قسم القيسون الغاطس يقع على عمق (0.85) من عمق الماء ($h = 15 m$) فيكون عمق القيسون الغاطس مساوي:

$$h_d = 0.85 (h) = 0.85 * 15 = 12.75 m$$

- بالتالي سماكة السرير الحجري h_r تساوي:

$$h_r = 0.15 (h) = 0.15 * 15 = 2.25 m$$

- عمق المنشأة المغمور h' (بوجود المد 0.4 m وبإضافة الزيادة المتوقعة على منسوب الماء 0.5m):

$$h' = h_d + 0.9 = 12.75 + 0.9 = 13.65 m$$

- عمق الماء الكلي h_s :

$$h_s = h + 0.9 = 15 + 0.9 = 15.9 m$$

- نحسب سماكة الصخور (الكتل المصطبة) في طبقة التقوية من العلاقة:

$$d_c = 0.75 (h - h_d) = 0.75 (15 - 12.75) = 1.68 m \approx 1.7 m$$

- حساب عمق الماء التصميمي عند مقدمة المنشأة (عمق طبقة التقوية الصخرية):

$$d = h' - d_c = 13.65 - 1.7 = 11.95 m > \frac{h_s}{2} = \frac{15.9}{2} = 7.95 \dots ok$$

- عرض المصطبة الصخرية:

$$Bm = 10 m \text{ من جهة البحر.}$$

$$Bn = 6 m \text{ من جهة الساحة المحمية.}$$

- ميل المصطبة الصخرية: من أجل المصاطب الخارجية 1:2 ومن أجل المصاطب الداخلية 1:1

- حساب منسوب القمة بالنسبة إلى منسوب الماء الساكن (R_C The Structure Crest): ويتم بالاعتماد على صيغة (Franco and Franco 1999) لحساب معدل غمر الأمواج، وبفرض معدل غمر آمن نسبياً وليكن ($q = 0.010 m^3/s pre m$)، وبالتالي:

$$R_C = \ln \left(\frac{q}{0.082 \sqrt{g \cdot H_S^3}} \right) \cdot \left(\frac{-H_S Y_\beta Y_S}{3} \right)$$

$$= \ln \left(\frac{0.010}{0.082 \sqrt{9.81 \cdot 6.1^3}} \right) \cdot \left(\frac{-6.1 \cdot 1 \cdot 1}{3} \right)$$

$$R_C \approx 12 \text{ m}$$

- ولتجنب الهدر في الخرسانة عند الإنشاء نقسم هذا الارتفاع إلى (7m) ونستبدل باقي الارتفاع بمنشأة (Super structure) بارتفاع (SS = 5m)، وبفرض عرض كتلة القيسون الكلي $B = 18\text{m}$.
- ارتفاع المنشأة الكلي h_w يساوي:

$$h_w = h_d + R_C = 12.75 + 12 = 24.75 \text{ m}$$

- الارتفاع الظاهر h_c :

$$h_c = h_w - h' = 24.75 - 13.65 = 11.1 \text{ m}$$

- ❖ يوضح الجدول (3) تحديد نوع حالة التحميل الناتجة عن ضغط الأمواج، والجدول (4) قيم معاملات ضغط الأمواج في حالة اندفاع الأمواج، والجدول (5) يُظهر قيم ضغوط الأمواج المؤثرة على الحاجز القيسوني والجدول (6) يبين القوى والعزوم المؤثرة على المنشأة، كما ويوضح الجدول (7) تصميم الأساس الركامي والجدول (8) يبين عوامل استقرار المنشأة الخاصة بالتصميم I.
- ❖ يبين الجدول (9) قيم الضغوط والقوى والعزوم المؤثرة على التصاميم المقترحة (التصميم II، التصميم III، التصميم IV، التصميم V)، وعوامل استقرار المنشأة الخاصة بكل تصميم.

الجدول (3): تحديد ضغط الأمواج (التصميم I)

27	V_w	سرعة الرياح (m/sec)
50	T_r	عمر المنشأة التصميمي (year)
0	β	زاوية اقتراب الموجة التصميمية (deg)
0.01	m	ميل قاع البحر
11.25	T_P	دور الموجة الوسطي (sec)
12.4	T_S	دور الموجة الهام (sec)
6.1	H_S	ارتفاع الموجة الهام (m)
9.8	H_{design}	ارتفاع الموجة التصميمي (m)
16.205	h_b	عمق الماء على مسافة ($5H_S$) من مقدمة المنشأة (m)
145.25	L	طول الموجة عند العمق hb (m)
3.95	h_B	ارتفاع مصطبة السرير (m)
0.248	h_b^*	h_B/h_S
0.38	H_S^*	H_S/h_S
Impact loads		نوع حالة التحميل

الجدول (4): معاملات ضغط الأمواج في حالة الأمواج المندفعة (التصميم I)

0.8759	α_1
0.0589	α_2
0.8306	α_3
0.8201	α_{10}
-0.3085	δ_{22}
-1.5119	δ_2
-0.1741	δ_{11}
-3.4828	δ_1
0.0036	α_{11}
0.00296	α_1
0.0589	α^*

الجدول (5): ضغوط الأمواج المؤثرة على المنشأة (التصميم I)

Kpa	92.56	P_1
Kpa	22.67	P_2
Kpa	76.88	P_3
Kpa	72.04	P_u
m	14.70	η^*

الجدول (6): القوى والعزوم المؤثرة على المنشأة (التصميم I)

Kn/m	1616.41	F_H
Kn/m	499.27	F_U
Kn/m	4856.83	F_G
Kn.m/m	46761.4	M_G
Kn.m/m	15954.89	M_H
Kn.m/m	5601.83	M_U

الجدول (7): تصميم الأساس الركامي (التصميم I)

4357.56	W_e	القوة الشاقولية الصافية (Kn/m)
25204.68	M_e	العزم الصافي حول الكعب (Kn.m/m)
5.78	t_e	الذراع حول القوة الشاقولية الصافية (m)
6.00	$B/3$	ثلث عرض الحاجز (m)
135.0	L'	طول الموجة عند العمق h'
4.58	N_s	رقم الاستقرار
0.156	K	بارامتر
1.61	M	كتلة وحدات الحماية (ton)

الجدول (8): عوامل الاستقرار (التصميم I)

1.61	SF_1	الأمان على الانزلاق
2.16	SF_2	الأمان على الانقلاب
502.6	Pe	قدرة تحمل الأساس للضغط (Kpa)

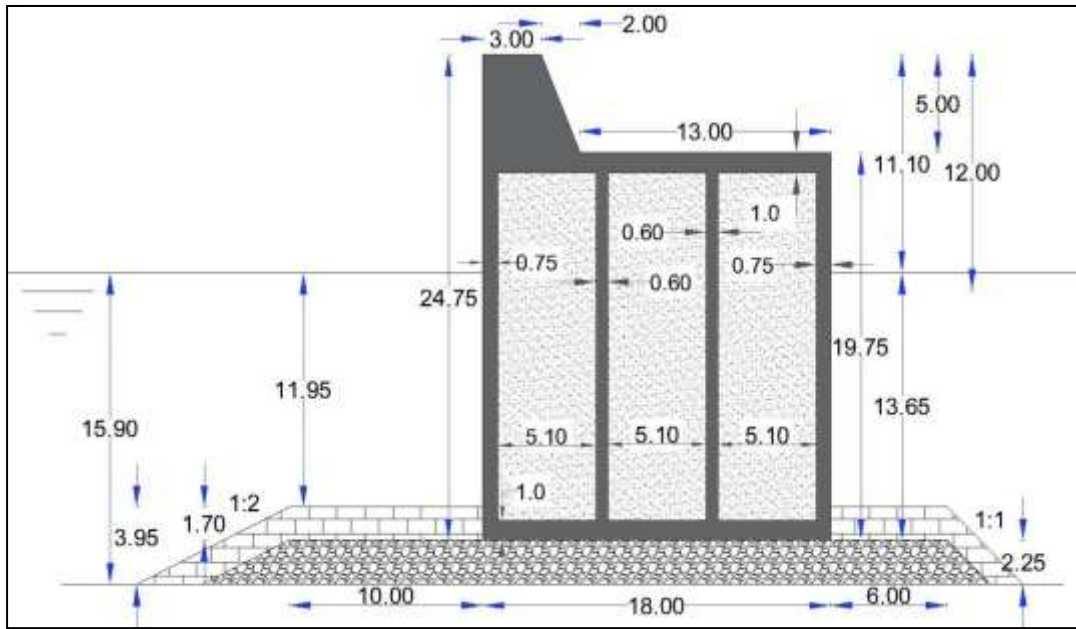
الجدول (9) الضغوط والقوى والعزوم المؤثرة على التصميم المقترحة وعوامل استقرار المنشأة

التصميم V	التصميم IV	التصميم III	التصميم II	
52.86	61.63	72.95	82.35	P_1 (Kpa)
8.98	9.09	9.66	14.38	P_2 (Kpa)
46.12	53.45	63.02	70.20	P_3 (Kpa)
41.51	49.07	58.28	65.17	P_u (Kpa)
439.51	644.38	928.3	1214.68	F_H (Kn/m)
159.8	207.8	291.6	376.4	F_U (Kn/m)
1255.53	1832.37	2732.9	3567.79	F_G (Kn /m)
7038.3	11063.8	19192.8	28736.29	M_G (Kn.m/m)
2037.51	3760.66	6604.03	10052.05	M_H (Kn.m/m)

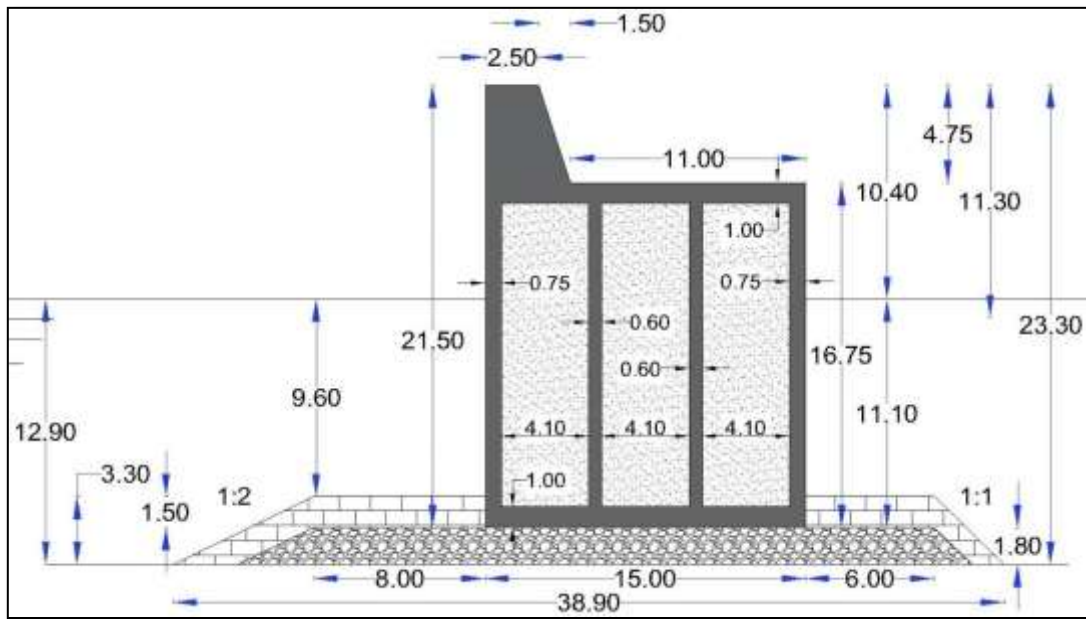
996.3	1424.9	2363.8	3519.2	M_U (Kn.m/m)
1.50	1.51	1.57	1.57	S_{F1}
2.32	2.13	2.14	2.11	S_{F2}
198.01	299.32	388.43	447.75	Pe

➤ التصاميم المقترحة:

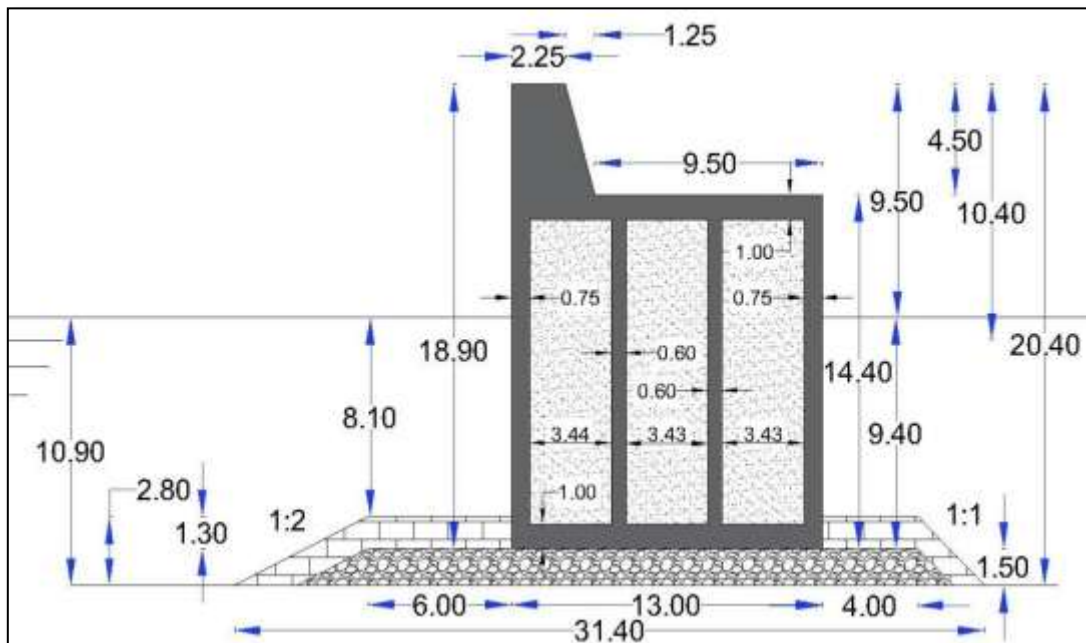
تم التوصل إلى تصاميم حواجز أمواج نموذجية من نوع القيسونات قادرة على تلبية متطلبات السلامة في الساحل السوري (حماية الساحة المائية في المرفأى وحماية الشواطئ أو تأمين حماية مؤقتة عند الحاجة ...)، وموضحة التفاصيل التصميمية الخاصة بكل تصميم في الأشكال (من 3 إلى 7).



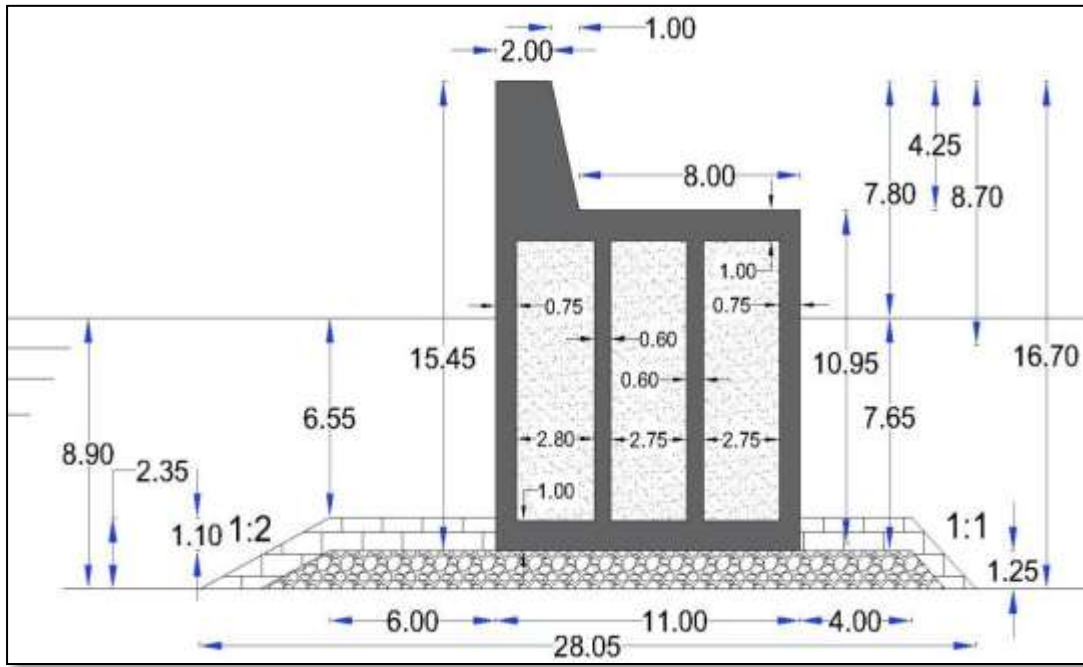
الشكل (3) التصميم I



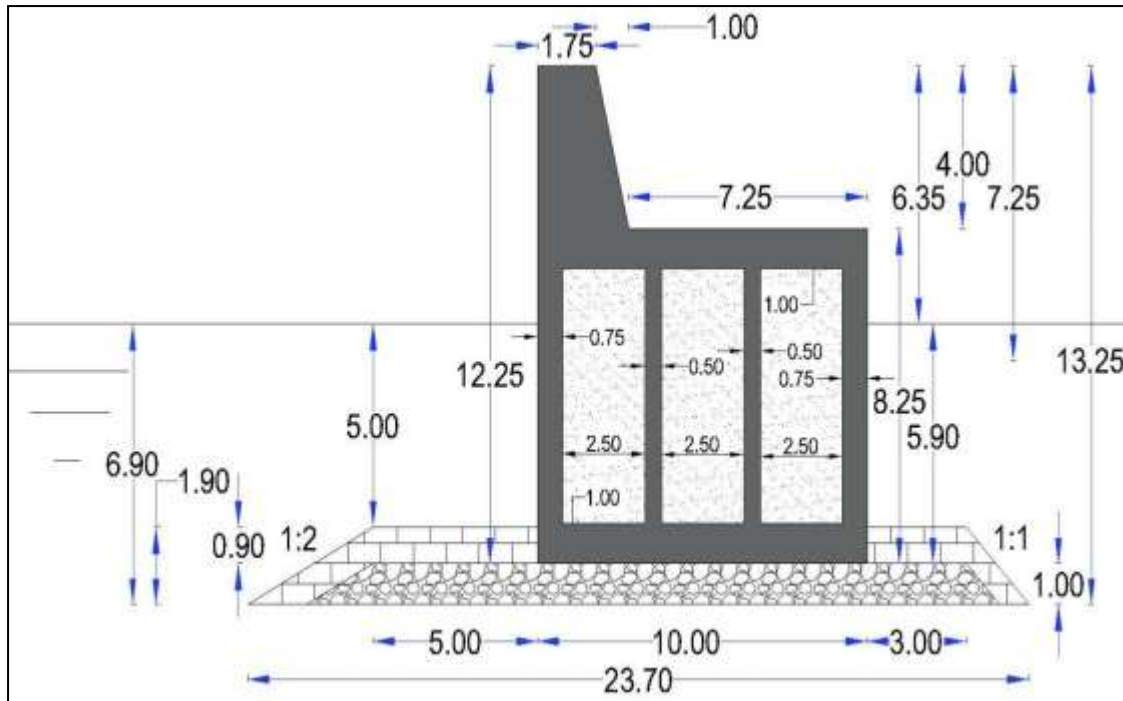
الشكل (4) التصميم II



الشكل (5) التصميم III



الشكل (6) التصميم IV



الشكل (7) التصميم V

التوصيات:

- استناداً إلى النتائج السابقة، ومن خلال الدراسة التي أجريت على الحواجز القيسونية، نوصي عند الحاجة إلى توسيع مرافئنا أو استحداث مرافئ جديدة أو لحماية الشواطئ بالآتي:
1. السعي ما أمكن إلى استخدام حواجز الأمواج من نوع القيسونات في الساحل السوري.
 2. استخدام منشآت الحماية القيسونية لما توفره من مساحة ضمن الحوض المائي مقارنة مع الحواجز الركامية الشائع استخدامها في مرافئنا.
 3. العمل على استخدام البرمجيات الهندسية نظراً لقدرتها الكبيرة في إجراء عمليات المحاكاة.

References:

1. Abido, Ibrahim. Port and marine facilities engineering. (Second) Edition, Al-Ma'arif Institution, Egypt 1982, 350.
2. Haider, Amal; Ibrahim, Adnan. Marine Engineering, Tishreen University Press, Syria, 2003, 331.
3. Ballout, Adel. Marine Port Engineering, Dar Al-Marsah for Printing, Publishing and Distribution, Syria, 2003, 236
4. SEKIGUCHI, H; OHMAKI, S. *overturning of caisson by storm waves. Soils and Foundations*. Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol(32) No(3),1992, 144-155.
5. OUMERACI, H. *Review and analysis of vertical breakwater failures: lesson learned*. Coastal Engineering 22. 1994, 3-39.
6. KIMURA, Y; KONDO, H; KUWABARA, S; KAWAMORI, A. *Improvement of composite breakwater on solid bottom against severe tsunamis*. Coastal Engineering. 1996, 1707-1719.
7. GODA, Y; TAKAGI, H. *A RELIABILITY DESIGN METHOD OF CAISSON BREAKWATERS WITH OPTIMAL WAVE HEIGHTS*. Journal Coastal Engineering, World Scientific Publishing Company and Japan Society of Civil Engineers. Vol. 42 (4), 2000, 357-387.
8. MACCARINI, F. *Behaviour of vertical caisson breakwaters under wave-induced cyclic loading*. (Master Thesis). Rome, Italy: University of Rome "La Sapienza"; Dept. of Structural and Geotechnical Engineering. 2004, 216.
9. YING, Z. X. *Behaviour Of Caisson Breakwater Subject to Breaking Waves*. (PhD Thesis). Department of Civil Engineering, National University of Singapore, 2006, 275
10. CUOMO, G. *Wave Impacts on Vertical Seawalls and Caisson Breakwaters*. University of Rome TRE, Civil Engineering Department Via Vito Volterra, 62 - 00146, Roma, Italy, 2007, 1-30.
11. ZHANG, X.Y ; LEE, F.H ; LEUNG, C.F. *Response of caisson breakwater subjected to repeated impulsive loading*. Geotechnique 59. No(1), 2009a, 3-16.
12. ZHANG, X.Y ; LEE, F.H ; LEUNG, C.F. *Tilt displacement of caisson breakwater due to wave loading*. Geotechnique 59. No(1), 2009b, 17-27.
13. ZHANG, X.Y ; LEUNG, C.F ; LEE, F. H. *Centrifuge modelling of caisson breakwater subject to wave-breaking*. journal Ocean Engineering, 36. 2009c, 914-929.
14. ESTEBAN, M; TAKAGI, H; SHIBAYAMA, T. *MODIFIED GODA FORMULA TO SIMULATE SLIDING OF COMPOSITE CAISSON BREAKWATER*. the Japan Society for the Promotion of Science (JSPS). 2011, 1-13.

15. LIN, Y; El CHAHAL, G; SHAO, Y. *Caisson Breakwater for LNG and Bulk Terminals: A Study on Limiting Wave Conditions for Caisson Installation*. Proceedings of the ASME 2020 39th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, American Society of Mechanical Engineers. 2020, 1-14.
16. MARTINELLI, L; LAMBERTI, A. *DYNAMIC RESPONSE OF CAISSON BREAKWATERS: SUGGESTIONS FOR THE EQUIVALENT STATIC ANALYSIS OF A SINGLE CAISSON IN THE ARRAY*. Coastal Engineering Journal, World Scientific Publishing Company and Japan Society of Civil Engineers. 53(1), 2011, 1–20.
17. Us Army Corps of Engineers. *Coastal Engineering Manual – Part VI*. USE: Engineering and Design. 2011.
18. Dergham, May. Choosing the optimal inclination of the front face of the aggregate crusher in the port of Latakia in relation to the weight of the mass composing this face. Master's thesis, Tishreen University, Syria, 2015. 107
19. MANN, S. A. *FLOATING FACTORY FOR THE MAASVLAKTE 2 CAISSON BREAKWATER*. (Master Thesis), Technical University of Delft, Faculty of Civil Engineering, Department: Hydraulic Engineering. 1999, 168.
20. GODA, Y. *RANDOM SEAS AND DESIGN OF MARITIME STRUCTURES*. World Scientific Publishing, Singapore, 2000, 443.
21. TSINKER, G. P. *Port Engineering Planning, Construction, Maintenance, and Security*. John Wiley & Sons, Inc New York & London, 2004, 881.

