

# Effect of Waves' Parameters on the Efficiency of a Pontoon Floating Breakwater Using Computational Fluid Dynamics

Dr. Amaal Haidar\*

Baraa Hazem Alia\*\*

(Received 1 / 5 / 2024. Accepted 1 / 8 / 2024)

## □ ABSTRACT □

Floating breakwaters are one of the coastal protection structures. They are usually designed to protect port's facilities and beaches. The often-used type of breakwaters is the conventional type such as the rubble mound type. However, climate change that causes tidal variations and sea level rise, as well as unsuitable soil conditions to receive large structural loads will be more economical if using floating breakwaters. In this study, a numerical simulation will be conducted using FLOW 3D software. The aim of this research is to study the effect of wave parameters (height and length) on the efficiency of a pontoon floating breakwater.

**Keywords:** Computational fluid dynamics, Floating breakwaters, transmission coefficient.

**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, Lattakia, Syria. [amalhaidar11@gmail.com](mailto:amalhaidar11@gmail.com)

\*\* Postgraduate Student (Master), Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. [baraalia77@gmail.com](mailto:baraalia77@gmail.com)

## تأثير بارامترات الأمواج على فعالية مكسر بونتون عائم باستخدام ديناميك الموائع الحسابية

د. امال حيدر\*

براءة حازم عليا\*\*

(تاريخ الإيداع 1 / 5 / 2024. قُبِلَ للنشر في 1 / 8 / 2024)

### □ ملخص □

المكاسر العائمة هي إحدى منشآت الحماية الشاطئية، وتُصمَّم هذه المنشآت عادة لحماية منشآت المرافئ والشواطئ. غالباً ما تُستخدم حواجز الأمواج التقليدية الضخمة والثقيلة كالمكاسر الركامية في تأمين الحماية المطلوبة من الأمواج. إلا أن تغيّر المناخ المستمر الذي يسبب تغيرات في مناسيب المد وارتفاع منسوب مياه البحار، بالإضافة إلى ضعف تربة القاع في تحمل حمولات المنشأة الثقيلة يجعل اختيار المكاسر العائمة أكثر اقتصادية. في هذه الدراسة ستجرى محاكاة عددية لمكسر عائم من نوع بونتون باستخدام برنامج FLOW 3D. الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير بارامترات الأمواج (الارتفاع والطول) على فعالية مكسر بونتون العائم.

الكلمات المفتاحية: ديناميك الموائع الحسابية، مكسر عائم، عامل النفاذ.

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



CC BY-NC-SA 04

\* أستاذ مساعد - قسم الهندسة المانية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

\*\* طالبة ماجستير - قسم الهندسة المانية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. [Baraalialia77@gmail.com](mailto:Baraalialia77@gmail.com)

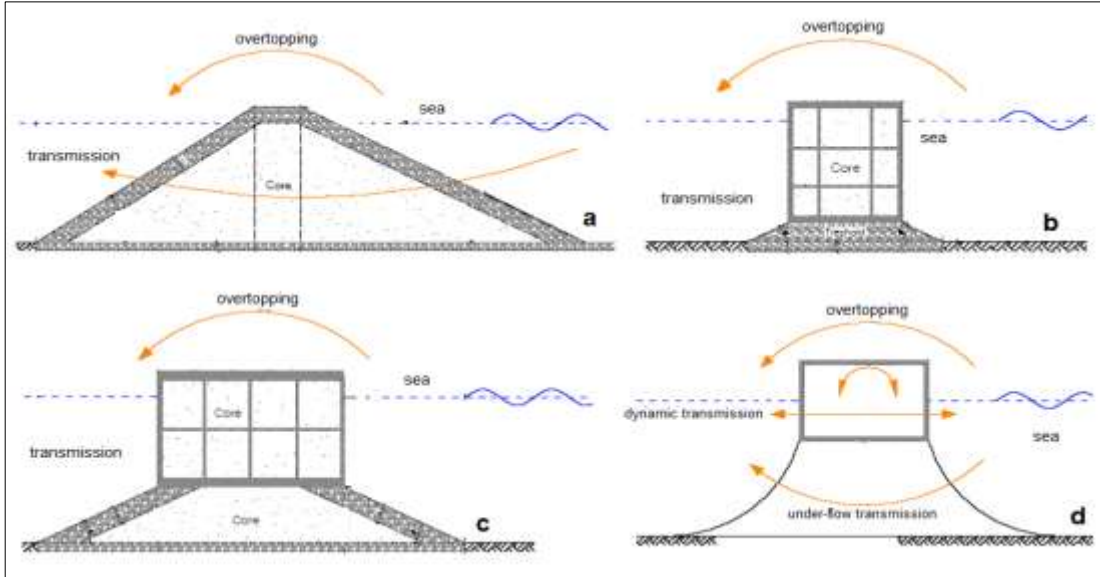
**مقدمة:**

تُبرز التغيرات المناخية المستمرة (مثل ارتفاع مناسيب البحار ومناسيب المد وغيرها....) وما ينتج عنها من أضرار تحديات أمام الهندسة الشاطئية في قدرتها على تقديم حلول فعّالة ومرنة واستباقية لحماية المناطق الساحلية ومنشآتها وقاطنيها. لذلك يبتكر المهندسون والباحثون ويطورون تصاميم عديدة لمنشآت حماية قابلة للتكيف في ظل تغير المناخ المستمر وإحدى هذه المنشآت هي حواجز الأمواج العائمة.

المكاسر العائمة هي نوع خاص من حواجز الأمواج، وهي منشآت هندسية طافية على سطح الماء مقيّدة الحركة بواسطة نظام إرساء (السلاسل المعدنية أو الأوتاد)، تعترض حركة جزيئات الماء قرب السطح حيث تدفق الطاقة أعظمي وتعيق نفاذ الأمواج.

مما لا شك فيه أن المكاسر التقليدية أكثر فعالية كمنشأة حماية من الأمواج، فهي منشآت ضخمة وثقيلة لتأمين المقاومة الكافية والاستقرار ضد الأمواج المدمرة. إلا أن المكاسر العائمة تمتلك ميزات مرغوبة تجعلها بديلاً مغرياً وجذاباً في بعض المناطق، ومن أهم ميزات: عدم تأثرها بتغير منسوب المياه ونوع تربة القاع -صديقة للبيئة فهي لا تؤثر على دورة المياه وهجرة الأسماك -إمكانية تغيير أماكن توضعها بسهولة وسرعة، كما يمكن الاستفادة منها عند الحاجة إلى حماية موسمية أو مؤقتة -زمن وكلفة بناء أقل خصوصاً في المياه ذات الأعماق الكبيرة. ولكن بسبب الحجم المحدود للمكاسر العائمة مقارنة بالتقليدية فهي لا تستطيع إيقاف الأمواج المتقدمة بالكامل، وتتخلص عيوبها الأساسية ب: أقل فعالية في الحماية من الأمواج والعواصف الشديدة -قد تهدد قوى الأمواج الكبيرة سلامة نظام الإرساء -كلفة صيانة أكبر.

توجد تصاميم كثيرة لحواجز الأمواج العائمة طُورت خلال السنين، ويتعلق اختيار تصميم المكسر بشكل أساسي بمواصفات الأمواج في الموقع المطلوب وتوفر مواد البناء والأداء الوظيفي العام للمكسر، ويبين الشكل (1) أنواع حواجز الأمواج.



الشكل (1): أنواع حواجز الأمواج: a ركامية، b شاقولية، c مختلطة، d عائمة (Fousert et al., 2009)

## أهمية البحث وأهدافه:

تآكل الشواطئ هو مشكلة عالمية كبيرة تهدد العديد من الشواطئ الرائعة بالزوال مع ما يتبعه ذلك من عواقب وخيمة، والساحل السوري أحد هذه الشواطئ ومن الضروري تأمين الحماية اللازمة له.

تحمي الشواطئ المناطق الساحلية بكل ما فيها من هياكل طبيعية ومنشآت وبنى تحتية، كما وتلعب دوراً مهماً في توفير سبل الترفيه للإنسان وتوفير موارد متعددة تساهم في الرخاء الاقتصادي والاجتماعي للبشر. وأهم فائدة اقتصادية للشواطئ هي أنها بمثابة موقع جذب سياحي، إذ تُعدّ السياحة أكبر نشاط اقتصادي في العالم، وهي لا تدرّ دخلاً أجنبياً للدول فحسب، بل تؤمّن أيضاً فرص عمل كثيرة للسكان المحليين. وخلال العقدين الفائتين ازداد بناء المكاسر العائمة بكثرة حول العالم كمنشآت حماية شاطئية أثبتت فعاليتها في مناطق كثيرة، ومن هنا تأتي أهمية هذا البحث كون هذه المنشآت تؤمّن أداءً جيداً في تخميد الأمواج، ولم تسبق دراسة هذه المنشآت من قبل ضمن بيئة الساحل السوري.

يهدف البحث إلى دراسة تأثير بارامترات الأمواج المتمثلة بالارتفاع والطول على فعالية المكسر العائم من نوع بونتون Pontoon.

## منطقة الدراسة

تشمل منطقة الدراسة جزءاً من الكورنيش الجنوبي لمدينة اللاذقية و يبلغ طول الشاطئ المدروس 1 km ويظهر في الشكل (2) موقع منطقة البحث مأخوذاً من Google Earth Pro.



الشكل (2): موقع منطقة الدراسة (Google Earth Pro)

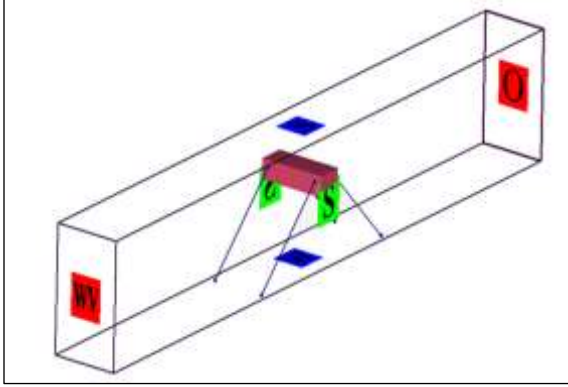
## طرائق البحث ومواده:

يمثل هذا البحث نمذجة عددية للتأثير المتبادل بين الأمواج ومكسر بونتون عائم لدراسة تأثير بارامترات الأمواج (الارتفاع والطول) على فعاليته، وقد استخدمت البرامج التالية لتحقيق الهدف من البحث:

- ❖ برنامج **FLOW 3D V.11.0.4.5**.
- ❖ برنامج **FlowSight V.10.0.3(j)**: أداة عرض ومعالجة لنتائج محاكاة برنامج FLOW 3D.
- ❖ برنامج **Excel**: أداة لتحليل البيانات.

## ❖ مواصفات منطقة الدراسة المتمثلة بعمق الطبقة المائية وبارامترات الأمواج.

## برنامج FLOW 3D:



الشكل (3): الشروط الطرفية للشبكة الحسابية

هو أحد برامج ديناميك الموائع الحسابية Computational Fluid Dynamics CFD وهو أداة نمذجة قوية يُستخدم في مجالات هندسية متعددة من ضمنها هندسة الشواطئ. ديناميك الموائع الحسابية هو العلم الذي يتنبأ بحركة وجريان الموائع (السوائل والغازات) والنقل الحراري وغيرها من الظواهر عن طريق حل المعادلات الرياضية الخاضعة لها باستخدام الحاسوب (الطرائق والخوارزميات العددية).

## • المعادلات الحاكمة Governing Equations:

تجري محاكاة التأثير المتبادل بين الأمواج والمنشأة العائمة في حوض أمواج عددي حيث يُعتبر السائل متجانساً ولزجاً وغير قابل للانضغاط، وتكون المعادلات الأساسية الحاكمة للجريان هي معادلات نافيه-ستوكس (RANS)

## .Reynolds-Averaged Navier-Stokes

نعتبر أن الأمواج تتقدم بشكل متعامد مع المحور الطولي للمنشأة (الضغط الأعظمي للأمواج) ونطبق تحليل ثنائي الأبعاد (x,z) فتصبح معادلتنا الاستمرار (1) continuity equation والزخم (2) momentum equation بالشكل التالي (Niu et al., 2023):

$$\frac{\partial(uiAi)}{\partial xi} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho u i}{\partial t} + \frac{\partial \rho u i u j}{\partial x j} = -\frac{\partial P}{\partial x i} + \frac{\partial}{\partial x j} \left[ \nu \left( \frac{\partial u i}{\partial x j} + \frac{\partial u j}{\partial x i} \right) - \rho u i' u j' \right] + \rho g i \quad (2)$$

حيث  $i, j = 1, 2$  من أجل جريان ثنائي الأبعاد،  $x_i$  الإحداثي الديكارتي،  $u_{i,j}$  سرعة السائل وفق المحور  $x$  والمحور  $z$ ،  $A_i$  مساحة التدفق وفق المحور  $x$ ،  $\rho$  كثافة السائل،  $P$  الضغط،  $\nu$  اللزوجة الحركية،  $g$  تسارع الجاذبية الأرضية،  $\rho u i' u j'$  حد الإجهادات الذي وضعه رينولدز ويُحسب من خلال نموذج الاضطراب ReNormalized RNG Group turbulence model الذي يدرس الاضطراب في الجريان الناتج عن التأثير المتبادل بين الأمواج والمنشأة العائمة، وتستخدم طريقة الفروق الحدية finite difference method في حل المعادلات.

## • الشروط الطرفية Boundary conditions:

يوضح الشكل (3) الشروط الطرفية المطبقة في النموذج وهي كالتالي:

1. Wave: مولد أمواج بالمواصفات المحددة و يُطبَّق عند  $X_{min}$ .

2. Outflow: يسمح بخروج الأمواج من الطرف المقابل للحوض و يُطبَّق عند  $X_{max}$ .

**3.Wall:** السرعة الشاقولية لجزيئة الماء عند القاع تساوي الصفر ويُطبَّق عند  $Z_{min}$ .

**4. Symmetry:** يُطبَّق عند  $Y_{min}, Y_{max}, Z_{max}$ .

• **مكسر بونتون العائم Pontoon Floating Breakwater:**

مكسر بونتون هو منشأة موشورية يأخذ مقطعها العرضي شكل حرف  $\pi$  اليوناني ويُعتبر من أبسط أشكال المكاسر العائمة الشكل (4) ويتميز بسهولة نقله وتركيبه، وقد درس أداءه وقيَم فعاليته باحثون كَثُرَ بطرائق نظرية واعددية وتجريبية. يؤمّن توزيع الكتلة مع عزوم العطالة في هذا التصميم استقراراً أفضل ومقاومة أكبر للدوران الناتج عن قوى الأمواج. ويتيح التصميم الموشوري أيضاً إمكانية استخدامه لأغراض متعددة مثل: إرساء القوارب أو كوحدات تخزين أو كممشى مائي.

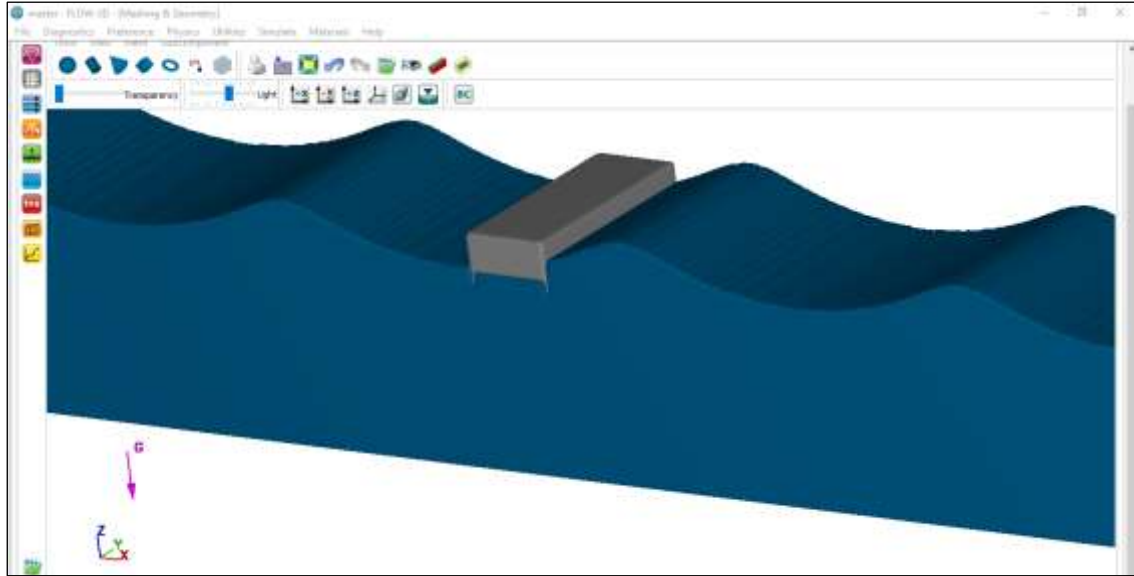


الشكل (4): مكسر بونتون عائم

يبدو في الشكل (5) التصميم المستخدم في هذه الدراسة بعد بنائه في برنامج FLOW 3D وهو مصنوع من البيتون المسلح وبلخص الجدول (1) الخصائص الهندسية له.

الجدول (1) مواصفات مكسر بونتون العائم

الخصائص	الوحدة	القيمة
الطول	m	20
العرض	m	10
الارتفاع الكلي	m	4
الغاطس	m	2.8



الشكل (5): تصميم مكسر بونتون بعد بنائه في برنامج FLOW 3D

أُجريت سلسلة من التجارب العددية في حوض أمواج أبعاده: الطول 450 m، العرض 20 m، الارتفاع 16 m، يتوضع المكسر العائم على بعد 150 m من مولد الأمواج في طرف الحوض. يجب أن يكون طول حوض الأمواج العددي ثلاثة أضعاف طول الموجة على الأقل لضمان وجود مساحة كافية لتطورها ومغادرتها المجال دون حدوث تداخلات (Abdolali et al., 2012).

يؤخذ عمق الماء ثابت في كل عمليات النمذجة ويساوي  $h = 8$  m، ويبين الجدول (2) مواصفات الأمواج المدروسة وهي أمواج منتظمة غير خطية في منطقة انتقالية.

الجدول (2) مواصفات الأمواج المدروسة

عمق الماء h (m)	طول الموجة L (m)	دور الموجة T (s)	ارتفاع الموجة H (m)
8	35, 50, 75	5- 9.06- 11.74	3
	50, 75, 100	6.47- 9.06- 11.74	4

#### • التحقق من دقة النموذج العددي:

أُجريت عملية التحقق من دقة نتائج النموذج العددي المختار عن طريق مقارنتها مع النتائج التجريبية لبحث (Ji et al., 2015). مواصفات الأمواج المستخدمة في المقارنة: أمواج منتظمة دورها ثابت  $T = 4.47s$ ، ارتفاعات الأمواج القادمة:  $H_i = (2, 2.5, 3, 3.5, 4)$  m، عمق الماء 20 m.

تم الاعتماد على طريقة متوسط الخطأ المئوي المطلق (MAPE) Mean Absolute Percentage Error في تحديد الدقة، ويُحسب الخطأ بالعلاقة التالية:

$$error = \frac{V_{exp} - V_{num}}{V_{exp}} \times 100 \quad (3)$$

حيث:  $V_{exp}$  قيم التجربة الفيزيائية،  $V_{num}$  قيم التجربة العددية، ويؤخذ الفرق بالقيمة المطلقة ويبين الجدول (3) قيم هذه النظرية أما الجدول (4) فيوضح نتائج المقارنة.

الجدول (3) نظرية MAPE

NO	MAPE Value	Prediction
1	$MAPE \leq 10\%$	High
2	$10\% < MAPE \leq 20\%$	Good
3	$20\% < MAPE \leq 50\%$	Reasonable
4	$MAPE > 50\%$	Low

الجدول (4) مقارنة بين قيم عامل النفاذ Kt التجريبية والعديدية

Hi (m)	Kt-exp	Kt-num	Error %
2	0.65	0.653	0.46
2.5	0.66	0.67	1.51
3	0.62	0.627	1.13
3.5	0.6	0.59	1.67
4	0.58	0.578	0.34
Average error	1.022%		

تظهر النتائج العديدية توافقاً عالياً مع النتائج التجريبية high prediction ( $MAPE < 10\%$ ) وبالتالي يمكن اعتماد النموذج العددي للتنبؤ بفعالية مكسر بونتون العائم.

### النتائج والمناقشة:

تتركز معظم طاقة الأمواج قرب سطح الماء حيث يتوضع المكسر العائم ويحدث التأثير المتبادل بينه وبين الأمواج القادمة في ثلاث طرائق رئيسية (Western Canada Hydraulic Laboratories Ltd, 1981):

- 1) انعكاس الطاقة Reflection of Energy عن السطح الأمامي للمكسر باتجاه البحر العميق.
- 2) تبديد الطاقة Dissipation of Energy نتيجة تكسر الأمواج على الوجه الأمامي للمكسر وتحولها إلى حرارة ناجمة عن الاحتكاك واضطراب يتمثل بتشكّل دوامات حول أطراف المكسر.
- 3) تحول الطاقة Transformation of Energy، حيث ينفذ الجزء المتبقي من طاقة الأمواج إلى جهة المنشأة المقابلة للبرّ مولداً أمواجاً ذات خصائص مختلفة عن خصائص الأمواج القادمة.

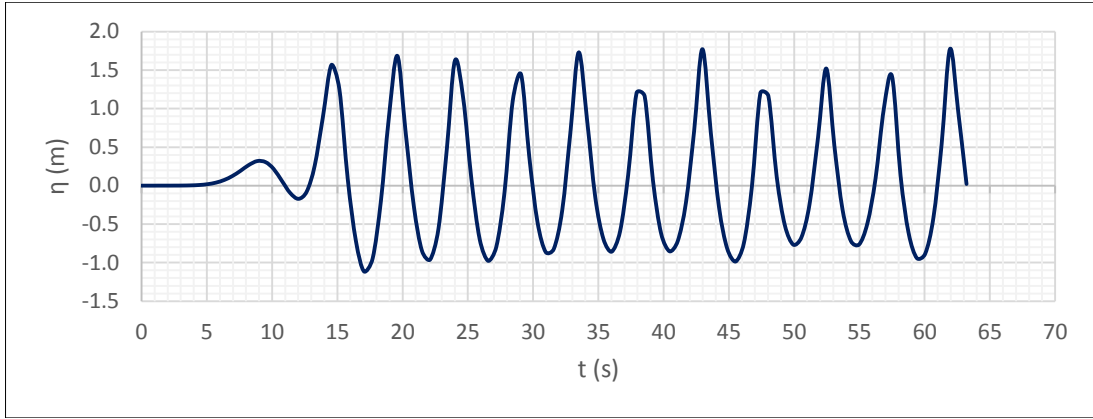
نفاذ الأمواج هو الظاهرة الأكثر أهمية في التحليل الهيدروديناميكي وبه تُقاس فعالية المكاسر العائمة. يُعرّف عامل النفاذ Kt بأنه النسبة بين ارتفاع الموجة في الجانب المحمي Ht وارتفاع الموجة القادمة Hi. ويجب أن تكون قيمة عامل النفاذ أصغر أو تساوي 0.5 ( $Kt \leq 50\%$ ) وفق معايير التصميم العالمية حتى تكون المنشأة فعالة.

$$Kt = \frac{Ht}{Hi} \quad (4)$$

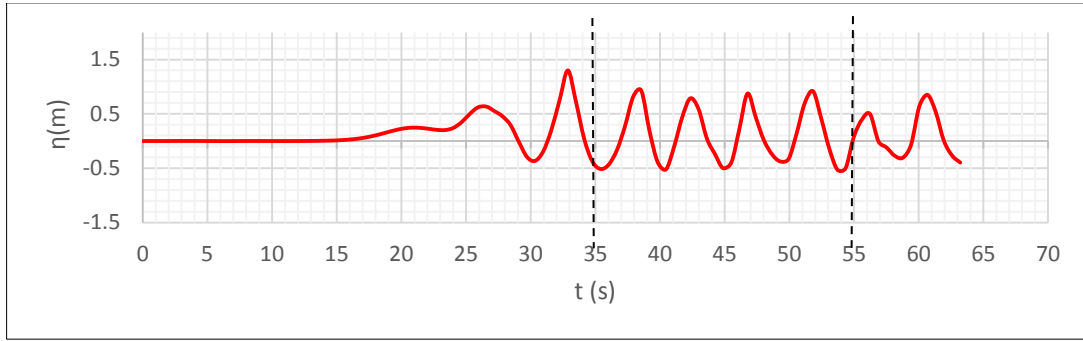
يظهر الشكل (6) عينة من البيانات المسجلة في نقطة القياس P1 الواقعة على بعد 95 m من الوجه الأمامي للمكسر المواجه لتقدم الأمواج في حالة موجة متقدمة بمواصفات ( $H = 3 \text{ m}$ ,  $L = 35 \text{ m}$ ,  $T = 5 \text{ s}$ ). يبيّن المخطط تغيرات منسوب سطح الماء  $\eta$  مع الزمن  $t$ ، ونجد أن الموجة تبدأ بالتشكل من مولد الأمواج في طرف الحوض وتصل إلى نقطة القياس عند الزمن  $t=7.1\text{s}$ ، ثم تتابع سيرها لتصل إلى المكسر عند الزمن  $t=20.7\text{s}$  (سرعة الموجة  $c = L/T$ )



(= 7 m/s) فتصطمم الموجة بالوجه الأمامي للمنشأة وينعكس جزء منها عنه متداخلاً مع الأمواج المتقدمة فتبدأ الموجة الواقفة standing wave -الموجة الناتجة من تراكب الأمواج المتقدمة مع الأمواج المنعكسة عن المنشأة- بالتشكل. يظهر الشكل (7) عينة من البيانات المسجلة في نقطة القياس P2 الواقعة على بعد 7 m من الوجه الخلفي للمكسر المواجه للبر في حالة موجة متقدمة بمواصفات (H = 3 m, L = 35 m, T = 5 s). تم اختيار بُعد نقطة القياس عن المنشأة 0.2L كما هو وارد في طريقة (Goda and Suzuki, 1976). يبين المخطط تغيرات منسوب سطح الماء  $\eta$  مع الزمن  $t$ ، ويتضح من المخطط أن جزءاً من الموجة المتقدمة يجتاز المكسر ويصل إلى نقطة القياس عند الزمن  $t=23.1s$ ، ويكون المجال [23-35]s مضطرباً بعض الشيء ثم يميل للاستقرار في المجال [35-55]s وهذه الفترة مناسبة لإيجاد ارتفاع الأمواج في الجانب المحمي من أجل حساب قيمة عامل النفاذ.



الشكل (6): تغيرات منسوب سطح الماء في النقطة P1 من أجل موجة (H=3m, L=35m)



الشكل (7): تغيرات منسوب سطح الماء في النقطة P2 من أجل موجة (H=3m, L=35m)

الفاصل الزمني بين القياسات 0.2 s وبعد تسجيل قياسات مناسيب سطح الماء الحر استخدمت العلاقة التالية في الحساب (Zidan et al., 2012):

$Ht$ : ارتفاع الموجة النافذة = أعلى منسوب لقمة الموجة - أخفض منسوب لبطن الموجة  
على سبيل المثال، من أجل التسجيل السابق الشكل (7) لموجة قادمة بمواصفات (H=3m, L=35m, T=5s) يكون ارتفاع هذه الموجة في الجانب المحمي:

$$Ht = 0.92 - (-0.52) = 1.44 \text{ m}$$

فتكون قيمة عامل النفاذ:

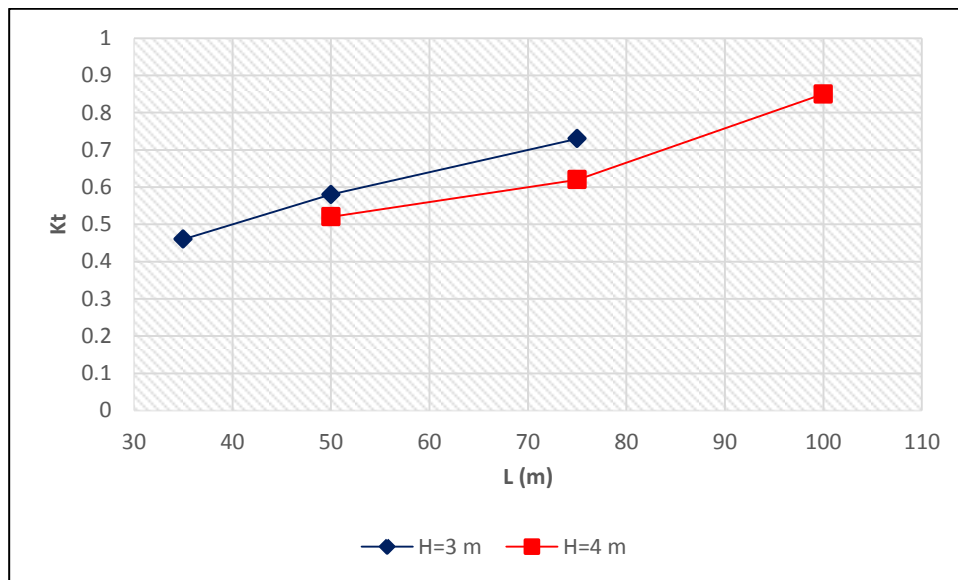
$$Kt = \frac{Ht}{Hi} = \frac{1.44}{3} = 0.48$$

أي أن 48% من طاقة الموجة نفذت إلى الجانب المحمي وتم إخماد 52% من طاقتها. بنفس التحليل السابق تم حساب ارتفاعات الأمواج الأخرى في الجانب المحمي وقيمتها مسجلة في الجدول (5).

الجدول (5) ارتفاعات الأمواج في الجانب المحمي (m)

L(m)	35	50	75	100
3	1.4 4	1.7 4	2.1 9	
4		2.0 8	2.4 8	3. 4

وبيّن الشكل (8) تغيرات قيم عامل النفاذ مع تغير أطوال الأمواج القادمة بالنسبة للارتفاعين  $H=3,4\text{ m}$ . نلاحظ أنه من أجل طول ثابت للأمواج فإن عامل النفاذ ينخفض مع ازدياد ارتفاع الموجة أي أن فعالية المنشأة تزداد، وهذا يُفسّر بأن الارتفاع الأكبر يسبب استجابات حركية أكبر للمكسر ناتجة عن دفع الأمواج وهذه بدورها تحقق تخميد أكبر للطاقة (Ji et al., 2015). أما من أجل ارتفاع ثابت للأمواج فإن قيم عامل النفاذ تزداد مع ازدياد طول الموجة وهذا يعني انخفاض فعالية المنشأة.



الشكل (8): تغيرات قيم عامل النفاذ بالنسبة لطول وارتفاع الأمواج القادمة

**الاستنتاجات والتوصيات:****الاستنتاجات:**

في هذا البحث، قمنا بدراسة تأثير بارامترات الأمواج على فعالية مكسر بونتون عائم من أجل أمواج منتظمة ذات ارتفاعات (3,4) m ومجال أطوال يتراوح بين [35-100] m اعتماداً على النمذجة العددية باستخدام برنامج FLOW 3D، وقد توصلنا إلى النتائج التالية:

- برنامج FLOW 3D أداة نمذجة قوية يمكن الاعتماد عليها وقد توافقت النتائج العددية بدرجة عالية مع النتائج التجريبية للنموذج الفيزيائي.
- يتنبأ برنامج FLOW 3D بفعالية المنشآت العائمة وهي عملية معقدة جداً، ويحدد تغيرات منسوب السطح الحر للماء بدقة، ويؤمن نتائج أخرى كثيرة.
- تتخفف فعالية المكاسر العائمة مع ازدياد طول الأمواج القادمة، والعكس ينطبق على ارتفاع الأمواج.
- أبعاد هذه المنشأة غير كافية لتخميد طاقة الأمواج المدروسة وينبغي زيادة أبعادها لتأمين عامل نفاذ أصغر من 0.5.

**التوصيات:**

- ضرورة العمل على سد النقص الشديد في المعلومات الحقلية الخاصة ببيانات الأمواج على الشاطئ السوري، والعمل على إنشاء بنك معلومات يتم الاعتماد عليه في الدراسات الحقلية وعند تصميم المنشآت الشاطئية والبحرية.
- ضرورة إجراء مسح طبوغرافي على طول الشاطئ السوري باستخدام أجهزة حديثة من أجل إعطاء صورة أكثر دقة لطبوغرافية القاع.
- ضرورة تأمين مختبرات مزودة بأجهزة حاسب ذات مواصفات عالية من أجل الاستعانة بها لتشغيل النماذج العددية الحديثة.
- على الرغم من أن النماذج العددية تساعد في توفير المال والجهد عند إجراء الدراسات البحرية، إلا أن بناء النماذج الفيزيائية عند توفر الإمكانيات الفنية والمادية يساعد وبدرجة كبيرة من الدقة على اختبار صحة المعطيات اللازمة للتصميم.

**References:**

1. ALBENNI, D. *Calculating Wind's Waves Elements at Lattakia's Coast Line*. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series, Vol. 40, No. 2, 2018, 285-303.
2. ABDOLALI, A; FRANCO, L; BELLOTI, G; MORTEZA, K. *Hydraulic and Numerical Modeling of the Performance of II-type Floating Breakwaters*. The 10th International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures, Iran, 2012.
3. FLOW 3D USER'S MANUAL. V11.0.4.5, 2015.
4. FOUSERT, M. W; VRIJING, J; MOLENAAR, W. F; VAN KESSEL, J. L. F. *Theoretical Study of a Dynamic Wave Attenuating System*. Coastal Structures, vol. 2, 2009, 339-350.
5. GODA, Y; SUZUKI, Y. *Estimation of Incident and Reflected Waves in Random Wave Experiments*. The 15th International Coastal Engineering Conference, ASCE, 1976, 828-845.
6. JI, C.Y; CHEN, X; CUI, J; YUAN, Z. M.; INCECIK, A. *Experimental Study of a New Type of Floating Breakwater*. Ocean Engineering, Vol. 105, 2015, 295-303.

7. NIU, G; CHEN, Y; LV, J; ZHANG, J; FAN, N. *Determination of Formulae for the Hydrodynamic Performance of a Fixed Box-Type Free Surface Breakwater in the Intermediate Water*. Marine Science and Engineering, Vol. 11, No. 9, 2023.
8. WESTERN CANADA HYDRAULIC LABORATORIES LTD. *Development of a Manual for the Design of Floating Breakwaters*. Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences, No. 1629, 1981, 225.
9. ZIDAN, A. R; RAGEH, O. S; SARHAN, TH. E; EL-SHARABASY, M. M. *Wave Interaction with Single and Twin pontoons*. Sixteenth International Water Technology Conference, Turkey, 2012.