



دراسة تقييمية لحماية الشاطئ الليبي من ظاهرة النحر الشاطئي: شاطئ تاجوراء كحالة دراسية

صلاح صالح* و ناجي المالطي

قسم الهندسة المدنية ، كلية الهندسة ، جامعة طرابلس ، ليبيا

*المراسلة salah.saleh@uot.edu.ly

المخلص

تعرض الشواطئ البحرية إلى تأثير مستمر لتحطم الأمواج الناتجة من الرياح. هذا التأثير المستمر قد يؤدي إلى إعادة تشكل الشواطئ إما بالتراجع نحو اليابسة أو ناحية البحر من خلال إزالة أو نقل التربة الشاطئية من مكان إلى آخر. تسمى عملية تراجع الشواطئ باتجاه اليابسة بظاهرة نحر الشواطئ. هذه الظاهرة تنشأ عندما تكون طبيعة الشاطئ عبارة جرف مكون من تربة ضعيفة التماسك ذات ميول منحدر باتجاه البحر حيث يؤدي تآكل الطبقات السفلية لهذه المنحدرات إلى نخرها و حدوث خلل في زاوية استقرارها ومن ثم انهيارها ناحية البحر. من خلال المتابعة والكشف الظاهري للصور الجوية المتوفرة خلال العقد الماضي، لوحظ وجود نشاط متزايد لهذه الظاهرة على امتداد ساحل بلدية تاجوراء والذي تتوفر فيه الظروف الملائمة لعملية النحر. بلغ تراجع الشاطئ مستويات قياسية لبعض المناطق الساحلية بتاجوراء حيث اقترب الشاطئ من أكتاف الطريق الساحلي بمسافة أمتار معدودة عند أقصى نقطة نحر. في هذا البحث، تم إجراء دراسة تقييمية لتصميم منشأ حماية شاطئية للمناطق المتضررة الهدف منه حماية تراجع الشاطئ من ظاهرة النحر. شملت الدراسة إجراء عملية محاكاة لانتقال الأمواج باستخدام النموذج العددي الأكثر استخداماً في هذا المجال بناء على أشد العواصف المسجلة بالساحل الغربي لليبيا. شملت الدراسة مختلف العمليات الفيزيائية التي تمر بها الموجة وكذلك العوامل المؤثرة في تغير مستوى سطح البحر بما فيها التغير المناخي. بينت النتائج تأثير الضحولة العالية للمياه في تحطيم الأمواج على الشاطئ من خلال الارتفاعات المحدودة للأمواج. تم إعداد وتصميم قطاعات نموذجية لمنشأ حماية شاطئية باستخدام منشآت التكرسية الحجرية بما يتناسب مع ارتفاع الموجة التصميمية والطبيعة الصخرية والرملية لقاع البحر.

الكلمات المفتاحية: التكرسية الحجرية، الحماية الشاطئية، النحر الشاطئي، الأمواج البحرية، محاكاة الأمواج.

An Evaluation study for protecting Libyan coast from the phenomenon of shore erosion: Tajura shore as a case study

Salah H. A. Saleh^a, Nagi A. Soliman Almalti^b

^aCivil Engineering Department, Faculty of Engineering/University of Tripoli, Libya

^bAl ebd'a consulting firm, Libya

*Corresponding author: salah.saleh@uot.edu.ly

Abstract

Shores are persistently affected by breaking wind waves. This effect might result in shoreline reformation towards either the landside or the seaside by removing or transferring beach soils from one place to another. The shoreline reformation towards the landside is known as shore erosion. The erosion takes place in case of shore cliffs composed of weakly cohesive soils having steep slopes where eroding the cliff from the beneath results in unbalancing the repose angle and ultimately being collapsed. From the inspection of available satellite images within the last decade, it was noticed an increasing activity of such phenomenon along the shoreline of Tajura municipality where the circumstances are proper for the erosion to take place. The erosion has reached noticeable levels in some coastal region of Tajura where the coastline became within few meters away from the shoulders of the coastal highway at the most extreme erosion. In this research, an evaluation study was

conducted to design shore protection structure for the eroded regions aiming to protecting the shore from such a phenomenon. The study included simulating wave propagation using the most widely used numerical model in this field based on the extreme storms recorded west of Libya. The study incorporated the various physical processes waves undergo and the factors affecting the water level variation including climate change. The results pointed out the effect of shoaling on wave breaking through the limited wave heights. Typical cross sections of the structure were produced using revetments for rocky and sandy seabeds.

Keywords: rock revetments, shore protection, shore erosion, sea waves, wave simulation.

المقدمة

تقع منطقة الدراسة على شاطئ بلدية تاجوراء غرب العاصمة طرابلس بليبيا تبدأ من الحاجز الثانوي لمرافأ الدخلة للصيد البحري وتمتد شرقا بمسافة حوالي 1350 مترا. تتوفر بهذه المنطقة الظروف الملائمة لتأثير ظاهرة النحر الشاطئي كون الشاطئ عبارة عن جرف شديد الانحدار مكون من تربة رملية ضعيفة التماسك إضافة إلى ضحولة المياه وتأثيرها في تحطم الأمواج. من خلال المتابعة وبالرجوع إلى الصور الجوية المتوفرة للمنطقة خلال العقد الماضي تبين وجود نشاط متزايد لعملية النحر أدت إلى تراجع الشاطئ داخل اليابسة بمسافة حوالي 37 مترا أدى إلى اقتراب الجرف الشاطئي بمسافة لا تزيد عن مترين من أكتاف الطريق الساحلي كما موضح في الشكل (1).



شكل 1: النحر الشاطئي وتآكل الشاطئ بمنطقة الدراسة

في هذا البحث، تم إجراء دراسة تقييمية لحماية الشاطئ من ظاهرة النحر الشاطئي من خلال تصميم منشأ تكسية حجرية على امتداد منطقة الدراسة. شملت الدراسة تجميع بيانات عن شدة العواصف المسجلة على الساحل الغربي لليبيا من خلال الدراسات السابقة،

تعتبر ظاهرة النحر الشاطئي من الظواهر الطبيعية التي تتعرض لها الشواطئ البحرية نتيجة تأثير أمواج الرياح والتيارات البحرية الناتجة من حركة الأمواج، حركة المد والجزر، مصبات الأنهار أو نتيجة عوامل غير طبيعية مثل مصبات مياه الصرف الصحي. هذه الظاهرة تنشأ وتتمدد عندما يكون الشاطئ عبارة عن جرف مكون من تربة ضعيفة التماسك شديدة الانحدار ناحية البحر. يؤدي تحطم الأمواج على هذا النوع من الشواطئ إلى تآكل الطبقات السفلية للجرف والذي بدوره يؤدي إلى انهيار الطبقات العلوية ومن ثم تآكل ونحر الشاطئ بشكل مستمر. للحد من تمدد هذه الظاهرة، يتم تنفيذ منشآت خاصة تعرف بمنشآت الحماية الشاطئية وظيفتها امتصاص وتبديد طاقة الأمواج المتحطمة ومنع وصولها إلى الجرف الشاطئي. أهم أنواع هذه المنشآت هي: منشآت التكسية الحجرية، الحوائط البحرية، الفواصل البحرية، وحواجز الأمواج المنفصلة.

تعتبر منشآت التكسية الحجرية من الطرق الأكثر استخداما لحماية الشواطئ من النحر الشاطئي لعدة أسباب. أولها، توفر مواد الإنشاء المتمثلة في الأحجار الطبيعية من ناتج المحاجر وقربها من موقع الدراسة. ثانيها، سهولة التنفيذ لأنها مكونة من أحجار طبيعية توضع إما بطريقة التفريغ للطبقات الداخلية أو بطريقة الإصطفاف لطبقة الحماية الخارجية. ثالثها، الكفاءة الهيدروليكية حيث يتم إجبار الموجة على التحطم بسبب الميل المتدرج وتبديد طاقة الموجة من خلال انتشار الموجة المتحطمة داخل المسامات بين الأحجار. رابعها، الخصائص الهندسية التي تتميز بها الأحجار مثل مقاومة التآكل، مقاومة إجهادات الضغط العالية، الكثافة الوزنية العالية، والديمومة العالية. خامسها، انخفاض تكلفة الإنشاء لأنها تنفذ من اليابسة وبالتالي لا تتطلب معدات تنفيذ بحرية.

لمتوسط ارتفاع الأمواج وزمنها الترددي واتجاهاتها السائدة، التغيير في مستوى سطح البحر نتيجة تأثير المد والجزر والمد العاصفي والمد الموجي والتغير المناخي. بينما تشمل بيانات قاع البحر: بيانات أعماق المياه والبيانات الجيوتقنية لقاع البحر. نظرا لعدم توفر البيانات المشار إليها سابقا من قبل المؤسسات الملاحية والمناخية المحلية، فقد تم الاعتماد على المؤسسات والهيئات المناخية الدولية والدراسات السابقة في الحصول على المعلومات المطلوبة.

تتوفر وبشكل مجاني لدى هيئة المخططات العامة لأعماق المحيطات والمعروفة باسم (GEBCO) [1] خرائط أعماق شبكية بدقة تباعد تصل إلى 450 مترا على الساحل الغربي لليبيا، كما تتوفر لدى شبكة المعلومات والمراقبة البحرية الأوروبية المعروفة باسم (EMODnet) [2] خرائط أعماق شبكية أكثر دقة حيث تصل دقة التباعد إلى 112 مترا على الساحل الغربي لليبيا. المصدر الرئيسي لهذه البيانات هي عمليات المسح البحري التي تجرى إما بتقنية الكشف الضوئي (Light Detection and Ranging) والمعروفة باسم (LiDAR) أو بتقنية الصدى الصوتي المتعدد (Multi-beam echosounders) والمعروفة باسم (MBES). كلا العمليتين تخضعان لإجراءات مطابقة ومراقبة جودة (QC and QA) للتأكد من دقة البيانات قبل نشرها. كما تم الحصول على بيانات أعماق دقيقة للمنطقة القريبة من الشاطئ وفقا للمسح الهيدروغرافي الذي أجرته شركة الإبداع الفني والتقني للمقاولات العامة والاستثمار العقاري خلال شهر أغسطس 2022.

نظرا لعدم توفر بيانات مجانية للأمواج من قبل المؤسسات والهيئات المناخية الدولية، فقد تم الاعتماد على الدراسات السابقة التي أجريت على الساحل الغربي لليبيا ضمن إعادة تصميم حاجز الأمواج الغربي لميناء طرابلس البحري نتيجة الضرر الكبير الذي حدث له بعد تعرضه لعواصف شديدة جدا خلال شهر يناير 1981. أهم هذه الدراسات هي الدراسة الفنية التي أجريت سنة 1982 بواسطة مجموعة الاستشارات الهندسية الهولندية [3]، والدراسة المعملية التي أجريت سنة 1999 من قبل معامل دلفت الهيدروليكية [4]. وفقا لهاتين الدراستين، تبين أن الارتفاع التصميمي للأمواج بالمياه

خرائط أعماق المياه للمناطق البعيدة والقريبة من الشاطئ، بيانات المد والجزر، تأثير التغير المناخي، إجراء عملية نمذجة عددية لمحاكاة انتقال الأمواج من داخل المياه العميقة وصولا إلى المياه الشاطئية باستخدام نموذج محاكاة الأمواج القريبة من الشاطئ الأكثر استخداما في هذا المجال والمعروف باسم (SWAN).

المواد وطرق العمل

إن أعمال الدراسات الخاصة بتنفيذ الحماية الشاطئية (مقارنة بالحماية داخل البحر) له خصوصية كونها تقع بشكل عام في منطقة المياه الضحلة وبالتالي تأثرها بالدورة الزمنية للمد والجزر والذي يجعلها تقع في فترات معينة من السنة داخل منطقة تحطم الأمواج حيث تكون عرضة بشكل مباشر لتأثير الأمواج المتحطمة وهذا يتطلب دراسة دقيقة لانتقال الأمواج ودراسة الحدود الدنيا والقصى لتغير مستوى سطح البحر. بناء عليه، تم إعداد دراسة شاملة تهدف إلى تصميم منشأ حماية شاطئية بناء على بيانات وتحليلات دقيقة مرت على عدة مراحل شملت تجميع وتحليل البيانات الخاصة بالعواصف القصى المسجلة على الساحل الغربي لليبيا، بيانات المسح الهيدروغرافي بالمياه البعيدة عن الشاطئ والمياه القريبة من الشاطئ، وإجراء محاكاة لعملية انتقال الأمواج من المياه البعيدة عن الشاطئ وصولا إلى المياه القريبة من الشاطئ باستخدام نموذج محاكاة الأمواج القريبة من الشاطئ (SWAN).

إن سلامة تصميم المنشآت الهندسية يعتمد بشكل كبير على درجة الدقة في تجميع وتحليل البيانات المتعلقة بجميع المراحل التصميمية للمنشأ، لذلك تم التركيز على توخي الدقة في تجميع البيانات من خلال تعدد مصادر البيانات وإجراء مقارنات حقلية لها بينما تم استخدام أحدث الطرق الهندسية في تحليل البيانات. نظرا لتعقيد العمليات الفيزيائية لحركة الموجة وتفاعلها بين بعضها البعض ومع البيئة المحيطة بها سواء فوق أو تحت سطح البحر، فقد تم استخدام طرق النمذجة العددية لمحاكاة انتقال الأمواج من داخل المياه العميقة البعيدة عن الشاطئ وصولا إلى المناطق الشاطئية والقريبة من الشاطئ. وكما هو معروف فإن فإن درجة وثوق البيانات المخرجة من هذه النماذج تعتمد بشكل كبير على دقة المعلومات المدخلة لها والتي تشمل البيانات المناخية والبيانات المتعلقة بقاع البحر. تشمل البيانات المناخية: سرعة واتجاه الرياح السائدة والقصى، سرعة واتجاه التيارات البحرية السائدة، العواصف القصى

العميقة عند زمن رجوع 100 سنة هو 10.1 متر وأن الاتجاه السائد للأمواج ينحصر بين الشمال الغربي (NW) وشمال الشمال الغربي (NNW) بينما يتراوح الزمن الترددي للموجة التصميمية بين 14 و 16 ثانية، كما أن سرعة الرياح تصل إلى 30 متر/ث.

شملت هاتين الدراستين أيضا دراسة التغير في مستوى سطح البحر نتيجة تأثير عوامل المد المختلفة مثل المد الفلكي، المد العاصفي، وتأثير التغير المناخي. وفقا لبيانات الدورة الزمنية للمد الفلكي، يبلغ أقصى ارتفاع لمستوى المد 20 سم فوق متوسط مستوى سطح البحر (MSL) بينما أدنى مستوى للمد يصل إلى 35 سم تحت متوسط سطح البحر. يحدث المد العاصفي نتيجة انخفاض الضغط الجوي على سطح البحر والذي يؤدي إلى إزاحة كتلة المياه باتجاه الشاطئ حيث بينت الدراستين أن قيمة الانخفاض في الضغط الجوي بلغت 983 مللي بار وارتفاع مدي يصل إلى 30 سم فوق مستوى سطح البحر. من خلال توثيق الزيادة في منسوب سطح البحر نتيجة التغير المناخي خلال القرن الماضي، تبين أن قيمة الزيادة السنوية تتراوح بين 1 مم و 2 مم [5]، إلا أن التوجه الحالي يوحي بتوقع قيم أكثر للزيادة السنوية تتراوح بين (4-6 مم). في هذه الدراسة تم استخدام قيمة متوسطة عند 5 مم كزيادة سنوية لمستوى المياه في هذه الدراسة أو بمعنى آخر 50 سم خلال 100 سنة. إضافة إلى هذه العوامل، تم إضافة تأثير المد الموجي الناتج من تحطم الأمواج ضمن عملية محاكاة انتقال الأمواج حيث تراوحت قيمة المد الموجي بين 40 سم و 45 سم وفقا لعمق المياه الذي تتحطم عنده الموجة.

يعتبر نموذج محاكاة الأمواج القريبة من الشاطئ (SWAN) أحد نماذج محاكاة الأمواج من الجيل الثالث والذي بدأ تطويره سنة 1999 من قبل جامعة دلفت للتكنولوجيا (TU Delft University) بالمملكة الهولندية وبدعم من مكتب البحوث البحرية الأمريكية (Office of Naval Research) أما حاليا فإنه يتم تطويره من قبل جامعة دلفت وبدعم من وزارة النقل وإدارة المياه الهولندية حيث يتم تحديثه بشكل مستمر وفقا للتطور العلمي في مجال محاكاة ونقل الأمواج. تم تصميم نموذج (SWAN) خصيصا لمحاكاة انتقال الأمواج من أعماق البحار إلى المناطق الشاطئية بعكس النماذج الأخرى مثل نموذج الأمواج (WAM) ونموذج مراقبة الأمواج (WAVEWATCH III) واللذين يختصان بمحاكاة ونقل الأمواج البعيدة عن الشاطئ داخل البحار والمحيطات. إن ما يميز نموذج (SWAN) هو الدقة العالية إضافة إلى توفره بشكل مجاني والذي

أدى إلى انتشاره بشكل واسع في العديد من دول العالم حيث يتم الاعتماد عليه في مجال التوقعات المناخية الخاصة بالأمواج إضافة إلى استخدامه في أعمال تصميم المنشآت البحرية الشاطئية. لمزيد من التفاصيل عن النموذج يمكن الرجوع إلى الدراسة التفصيلية الخاصة بإصدار النموذج [6].

يعتمد تصميم منشأ التكسية الحجرية على حماية المنشأ من الانهيار بإحدى ثلاثة طرق. الأولى، انهيار طبقة التدرج نتيجة صغر حجم الأحجار عن الحجم المطلوب لمقاومة طاقة الأمواج المتحطمة ويتم معالجة هذه الحالة حسابيا باستخدام المعادلات الخاصة بحساب الحجم المطلوب للأحجار. الثانية، حدوث تآكل وعلية نحر تحت طبقة قدم الحماية ويتم معالجة هذه الحالة بتصميم طبقة دعم خاصة بالقدم. الثالثة، حدوث نحر عند قمة طبقة الحماية نتيجة صعود الموجة وتجاوزها قمة المنشأ ويتم معالجة هذه الحالة بتوفير ارتفاع كاف لمنع مرور الموجة فوق قمة طبقة الحماية يتجاوز أقصى قيمة لصعود الموجة ($R_{0.2\%}$).

تم استخدام معادلات فان دير مير الخاصة بالمياه الضحلة [7] في حساب متوسط القطر الإسمي لأحجار طبقة التدرج الرئيسية (D_{r50}) لمنشأ التكسية الحجرية. هذه المعادلات تربط العلاقة بين رقم الاستقرار (N_S) من طرف والمتغيرات المختلفة التي تصف حالة الموجة وطبقة التدرج الرئيسية وطريقة تحطم الموجة. يتم تطبيق المعادلة (1) في حالة تحطم الأمواج بطريقة القفز (Plunging):

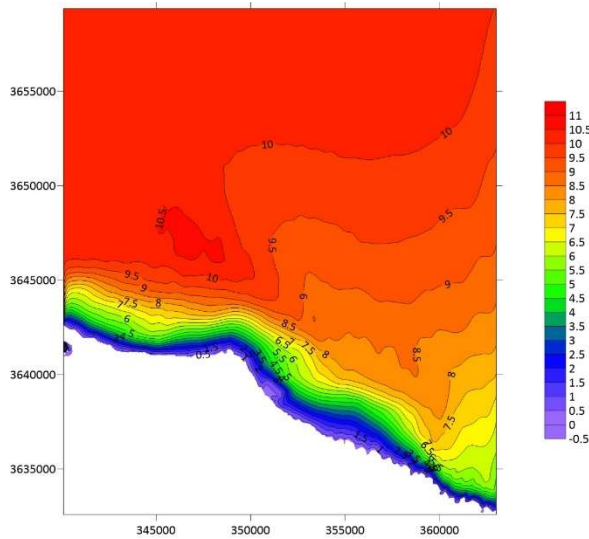
$$N_S = C_{pl} P^{0.18} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} \left(\frac{H_S}{H_{2\%}}\right) (\xi_{m-1,0})^{-0.5} \quad (1)$$

بينما يتم تطبيق المعادلة (2) في حالة تحطم الأمواج بطريقة الاندفاع (Surging):

$$N_S = C_S P^{-0.13} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} \left(\frac{H_S}{H_{2\%}}\right) \sqrt{\cot \alpha} (\xi_{m-1,0})^P \quad (2)$$

يمثل الطرف الأيسر في كلا المعادلتين قيمة رقم الاستقرار حيث يمثل الرمز (Δ) قيمة كثافة الطفو النسبية للأحجار. الرمز (C_{pl}) و (C_S) يشيران إلى ثابتي القفز والاندفاع الموجي بقيم متوسطة عند 8.4 و 1.3 على التوالي. يمثل (N) عدد الأمواج المكونة للطيف الموجي، الرمز (P) يمثل مسامية منشأ الحماية بقيمة 0.1 للطبقات الغير منفذة، بينما يشير الرمز (S_d) إلى مستوى الضرر والذي يؤخذ عند قيمة تعادل 2 في حالة مستوى ضرر صفري أو مستوى بداية الضرر. أما الزاوية (α) فتتمثل زاوية ميل سطح المنشأ، بينما

أولاً، حددت قيمة ثابت الطيف الموجي (γ) الخاص بطيف (JONSWAP spectrum) والذي تتراوح قيمه بين 1 و 7 بقيمة متوسطة عند 3.3. ثانياً، تم استخدام دقة التباعد الشبكية عند 112 متراً حيث تتراوح القيم الموصى بها في تطبيق النموذج بين 50 و 100 متر. ثالثاً، حددت قيمة دقة التباعد الزاوي عند 10 درجات، أقل وأقصى قيم للتردد الموجي عند 0.04 و 1 هرتز، والانتشار الزاوي للأمواج عند 30 درجة. كما تضمنت عملية المحاكاة مختلف العمليات الفيزيائية المؤثرة في خصائص الموجة والتي شملت العمليات التالية: تحطم الأمواج بسبب ضحولة المياه، تحطم الأمواج بالمياه العميقة، التداخل الموجي الثلاثي، التداخل الموجي الرباعي، احتكاك الأمواج مع قاع الموجة، المد الموجي، انحراف الأمواج بسبب ضحولة المياه، ضحولة الأمواج، وانتشار الأمواج. يبين الشكل (3) توزيع ارتفاعات الأمواج داخل المنطقة الحسابية للنموذج.



شكل 3: توزيع ارتفاع الموجة التصميمية داخل المنطقة الحسابية

لتحديد مدى التباين والتغير في خصائص الأمواج، فقد تم تقسيم منطقة الدراسة إلى عدد 10 قطاعات تمتد من خط الشاطئ إلى داخل البحر كما هو مبين بالشكل (4). بينت النتائج أن أقصى قيم لخصائص الأمواج تحدث عند القطاع رقم (B2) حيث بلغ أقصى عمق للمياه حوالي 2.84 متراً نتيجة تأثير المد الموجي في ارتفاع مستوى سطح البحر بقيمة 0.42 متراً. زيادة مد كلية في مستوى المياه بلغت 1.42 متراً.

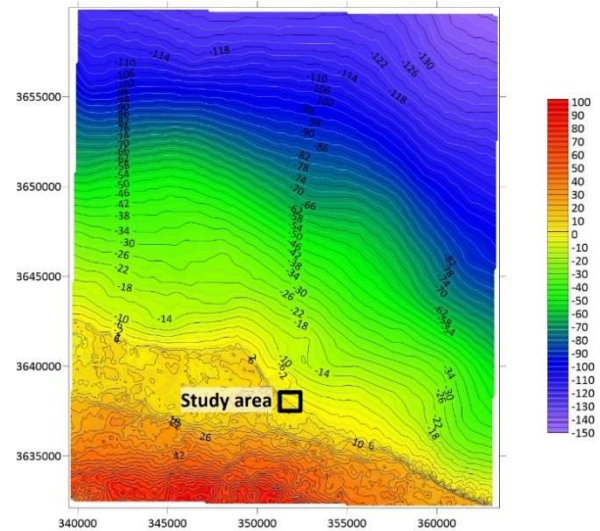
يمثل الرمز ($H_{2\%}$) متوسط ارتفاع الأمواج المتجاوزة بنسبة 2%. يتم حساب قيمة مؤشر تحطم الموجة ($\xi_{m-1,0}$) وفقاً للمعادلة (3).

$$\xi_{m-1,0} = \tan \alpha / \sqrt{2\pi H_s / g T_m^2} \quad (3)$$

حيث يمثل الرمز ($T_{m-1,0}$) المتوسط الطيفي للزمن الترددي للأمواج بالمياه الضحلة.

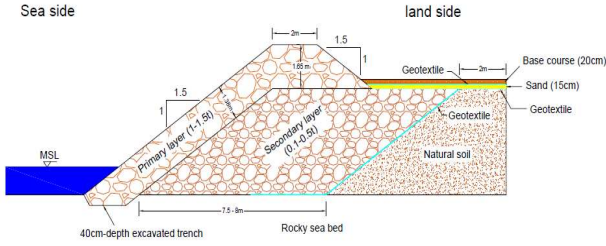
النتائج والمناقشة

تم إجراء عملية محاكاة انتقال الأمواج من المياه العميقة إلى المياه القريبة من الشاطئ بتطبيق نموذج (SWAN) وفقاً للتحديث رقم (Cycle III Version 41.31AB) الصادر سنة 2021. للحصول على نتائج موثوقة من تطبيق النموذج، فقد تم إجراء خطوات الضبط اللازمة عند استخدام النماذج العددية. أولاً، توسيع المنطقة الحسابية للنموذج وذلك لغرض تقادي انتقال الأخطاء الحدودية كما هو مبين بالشكل (2) حيث امتدت المنطقة الحسابية إلى عمق حوالي 150 متراً.

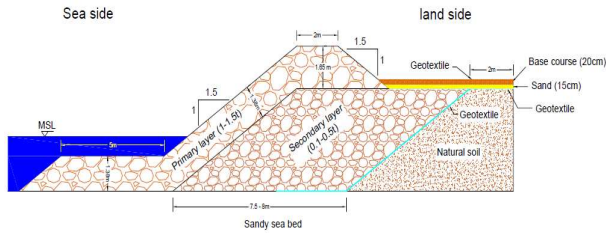


شكل 2: حدود المنطقة الحسابية لنموذج محاكاة الأمواج

حددت المنطقة الحسابية بطول 22.9 كم من الشرق إلى الغرب وبطول 26.8 كم من الشمال إلى الجنوب، أو بمعنى آخر ابتعاد منطقة الدراسة عن حدود المنطقة الحسابية بمسافة حوالي 11.5 كم والتي تعتبر مسافة كافية لإبعاد تأثير الأخطاء الحدودية على منطقة الدراسة. كما تم تنفيذ عدد من خطوات الضبط وتحليل حساسية بعض المتغيرات وتأثيرها على نتائج المحاكاة.



شكل 5: قطاع نموذج لمنشأ التغطية الحجرية لقاع صخري

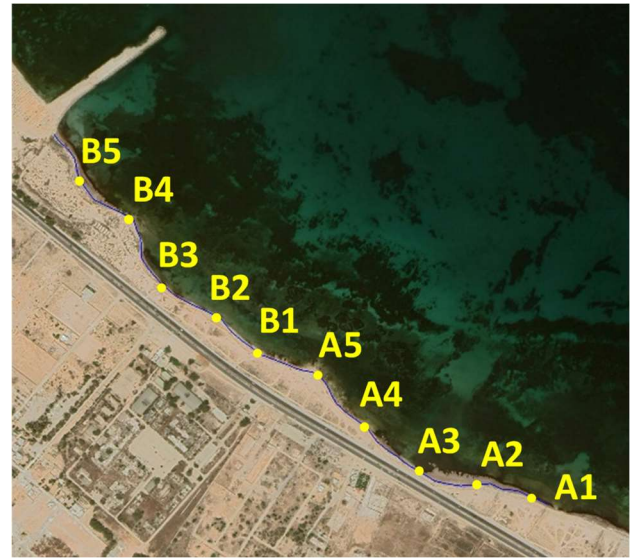


شكل 6: قطاع نموذج لمنشأ التغطية الحجرية لقاع رملي

تتكون طبقة قمة المنشأ الخارجية من ثلاثة صفوف من الأحجار الطبيعية بأوزان (1 - 1.5) طن وبكثافة لا تقل عن 2.6 طن/م³ وذلك لحماية التربة الطبيعية من تأثير مرور الموجة فوق منشأ الحماية.

الخلاصة

تناول البحث إجراء دراسة لتقييم إنشاء حماية شاطئ لحماية المناطق المتضررة من ظاهرة النحر الشاطئي على الساحل الليبي وتحديدًا على شاطئ بلدية تاجوراء. شملت الدراسة تجميع وتحليل البيانات المناخية لأشد العواصف البحرية المسجلة بالساحل الغربي لليبيا إضافة إلى بيانات أعماق المياه ابتداء من الشاطئ وحتى المناطق البعيدة عن الشاطئ داخل المياه العميقة، كما شملت الدراسة إجراء محاكاة دقيقة لانتقال الأمواج باستخدام أحدث نماذج تحليل الأمواج وأكثرها استخدامًا في هذا المجال. أهم النتائج التي تم التوصل إليها هي قوع منطقة الدراسة داخل منطقة تحطم الأمواج نتيجة الضخوة العالية للمياه من خلال الارتفاعات المحدودة للأمواج المتحصلة عليها من نموذج التحليل. تم استخدام منشأ التغطية بالأحجار لحماية الشاطئ من هذه الظاهرة كما تم تصميم قطاعات نموذجية بما يتناسب وارتفاع الموجة التصميمي وطبيعة قاع البحر سواء كانت صخرية أو رملية.



شكل 4: مواقع القطاعات الطولية لمنطقة الدراسة

تراوح متوسط القطر الاسمي لأحجار طبقة الحماية بين (0.38 - 0.77) متر وبوزن متوسط لأحجار طبقة الحماية بين (0.14 - 1.18) طن، كما تراوح سمك طبقة الحماية بين (0.69 - 1.38) مترا وأن طول طبقة قدم الحماية يتراوح بين (2.75 - 5.72) مترا. تم إعداد قطاعات نموذجية لمنشأ التغطية الحجرية بما يتناسب مع طبيعة قاع البحر سواء كانت صخرية أو رملية. يتكون كل قطاع من طبقة حماية تدرج رئيسية خارجية تتكون من صفين من الأحجار الطبيعية لتبديد وامتصاص طاقة الموجة بأوزان (1 - 1.5) طن وبكثافة لا تقل عن 2.6 طن/م³ وبسمك 1.38 متر وميل جانبي بنسبة 1.5 أفقي إلى 1 رأسي. تلي هذه الطبقة طبقة حماية ثانوية من الأحجار الطبيعية لتبديد وامتصاص الجزء المتبقي من طاقة الموجة بأوزان (0.1 - 0.5) طن وبكثافة لا تقل عن 2.6 طن/م³ وبعرض 7.5 متر وميل جانبي بنسبة 1.5 أفقي إلى 1 رأسي. لمنع تسرب تربة الشاطئ الرملية، تم استخدام غشاء تغطية (Geotextile) من النوع غير المنسوج. لحماية قدم طبقة الحماية الخارجية من النحر في حالة القاع الصخري، يتم حفر خندق في الأرض الصخرية لقاع البحر بعمق لا يقل عن 40 سم كما هو مبين بالشكل (5). في حالة القاع الرمي فيتم تنفيذ طبقة مسطحة من الأحجار الطبيعية بأوزان (1 - 1.5) طن وبكثافة لا تقل عن 2.6 طن/م³ ومتوسط طول 5 متر ومتوسط سمك 2 متر توضع مباشرة على قاع البحر كما مبين بالشكل (6).

شكر وتقدير

يتقدم المؤلفون بجزيل الشكر والتقدير لشركة الإبداع الفني والتقني للمقاولات والاستثمار العقاري وكذلك إدارة الموانئ بجهاز تنفيذ مشروعات المواصلات على تعاونهم في تزويدنا بالمعلومات والبيانات المطلوبة لانجاز هذا البحث.

قائمة المراجع

- [1] The General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO). Retrieved on 15/6/2022 from: <https://www.gebco.net>
- [2] The European Marine Observation and data Network (EMODnet), EMODnet bathymetry. Retrieved on 15/6/2022 from: <https://emodnet.ec.europa.eu>
- [3] Schaminee, P.P. 1982. Tripoli Breakwater Reconstruction. Retrieved on 15/6/2022 from: <https://repository.tudelft.nl>
- [4] Smith, G. M., and Spaan, G. B. H. 1999. Tripoli Harbor Breakwater: 2D Physical model studies. WL/Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands.
- [5] The intergovernmental Panel on Climate Change, IPPC Climate Change Report, 2022. Retrieved on 15/6/2022 from: <https://www.ipcc.ch>
- [6] N. Booij, R.C. Ris, L.H. Holthuijsen J. Geophys, 1999. The SWAN Wave Model for Shallow Water. 104 (C4): 7649-7666
- [7] Van der Meer, J. W. 1988. Rock slopes and gravel beaches under wave attack. Ph.D Thesis. Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.