

Impact of Tsunamis and Climate Fluctuations on the Coastal Landscape of Bahrain

Badreddin Manla Al Dakhil

Lab. IMAGES, Faculty of Science, University of Perpignan, France

ABSTRACT

ID # (2864)
Received: 02/01/2018
In-revised: 25/04/2019
Correspondent Author:
Badreddin Manla Al Dakhil
E-mail: aldakhil75@yahoo.fr

KEYWORDS

Coastal relief, tidal waves, tsunami, Arabian Gulf, Bahrain.

Arabian Gulf region considered one of the most areas vulnerable to the negative effects of fluctuations climatic and tsunami in urban, environmental and economic areas, costal relief operate to reduce these impacts, costal relief for Bahrain characterized by existence coastal plains, low-rise and along to the coast find some of Dohat, bays and meandering which are considered as factors helping the flow of tidal waves and tsunamis. The urban, industrial and petroleum areas and water desalination stations, these areas spread along the coast plain lacking of the physical manifestations of the resistance to the flow of tidal waves and tsunamis, which could lead to catastrophic events on infrastructure, construction and petroleum in case the flow of the waves high or tsunami tidal mid-rise, leading to instability in the region on a large scale. It was found that about a quarter of Bahrain will be affected by tidal waves and tsunami medium height (5 m), especially in the north-western parts of the island of Bahrain and the islands of Muharraq and Sitra. We have accomplished morphological maps that illustrate the strengths and weaknesses of the coastal relief of Bahrain in the face of the flow of tidal waves and tsunamis.

تأثير أمواج التسونامي والتذبذبات المناخية على التضاريس الساحلية للبحرين

بدر الدين منلا الدخيل

مختبر. الصور ، كلية العلوم ، جامعة بريبيان ، فرنسا

المستخلص

تعتبر منطقة الخليج العربي واحدة من أكثر المناطق عرضة للتأثيرات السلبية للتذبذبات المناخية وأمواج التسونامي في المجالات الحضرية والبيئية والاقتصادية، وتعمل التضاريس الشاطئية على الحد من هذه التأثيرات. فالتضاريس الساحلية للبحرين تتميز بسواحل ضيقة قليلة الارتفاع، وتنتشر المناطق العمرانية والصناعية والبتروولية ومحطات تحلية المياه والبنى التحتية على طول هذه السواحل الخالية من المظاهر الطبيعية المقاومة لتدفق أمواج المد والتسونامي، الأمر الذي قد يؤدي إلى أحداث كارثية على البنى التحتية والعمرانية والبتروولية في حال تدفق أمواج مديدة عالية أو أمواج تسونامي متوسطة الارتفاع، مما يؤدي إلى عدم الاستقرار بالمنطقة على نطاق واسع. وقد تبين أن حوالي ربع مساحة البحرين ستتأثر بأمواج المد والتسونامي متوسطة الارتفاع (5م) خاصة في الأجزاء الشمالية الغربية لجزيرة البحرين وجزيرتي المحرق وستر. وقد قمنا بإنجاز العديد من الخرائط التي توضح نقاط الضعف والقوة للتضاريس الساحلية البحرينية في مواجهة تدفق أمواج المد والتسونامي.

رقم المسودة: (2864)
تاريخ استلام المسودة: 2018/01/02
تاريخ المسودة المعدلة: 2019/04/25
الباحث المُراسل: بدر الدين منلا الدخيل
بريد الكتروني: aldakhil75@yahoo.fr

الكلمات الدالة

التضاريس الساحلية، أمواج المد، تسونامي، الخليج العربي، البحرين

المقدمة

المرتفعة تعمل كحواجز تمتص طاقة أمواج التسونامي.

من المتوقع أن يؤدي التذبذب المناخي إلى تفاقم الكثير من الظواهر المتطرفة التي تزداد حدة وتواتراً، ومنطقة الخليج ليست بمنأى عن هذه الظواهر مثل الأعاصير والزوايع وموجات المد البحري مثل إعصار جونو الذي حدث مؤخراً في عمان، وهناك مثال آخر لمثل هذه الأحداث المتطرفة الضخمة العاصفة الرملية في مايو 2004 والتي هبت من الصحراء الإيرانية باتجاه الخليج واجتاحت الكويت والساحل الشرقي من المملكة العربية السعودية والبحرين وقطر والإمارات العربية المتحدة (إلهامي، 2011).

التغير المناخي يؤدي إلى ارتفاع مستوى سطح البحر الذي يمثل خطراً كبيراً للمدن الساحلية، ويكون في شكل غمر للمناطق الساحلية أو زيادة ملوحة التربة. لقد شهد القرن الماضي ارتفاعاً في مستوى سطح البحر وصل الى حوالي 17 سم، وتوقعت لجنة الأمم المتحدة للتغير المناخي الدولي أن يصل ارتفاع مستوى سطح البحر الى 1.4 م بحلول عام 2100 نتيجة التغيرات الديناميكية المحتملة في تدفق الجليد، وتوقع باحثون آخرون أن تصل الزيادة إلى 5-6 م في حالة انهيار الطبقات الجليدية في القطب الجنوبي (IPCC, 2007).

وسوف تتأثر سواحل البحرين بشكل متباين بحسب بنية الشاطئ المورفولوجية وبحسب ارتفاع الشاطئ الملاصق للبحر (شكل 6)، ويزيد من هذا الخطر انتشار مناطق منخفضة الارتفاع على الحدود الساحلية والتي تشكل مصدراً رئيسياً لخطر الفيضانات وخاصة في المدن الساحلية. وتزداد المشكلة تفاقمًا مع عدم وجود رصد جيد لهذه الظاهرة في العديد من المناطق الساحلية.

من ناحية أخرى فإن درجة التضرر السريع وغير المنضبط أحياناً تحدث بشكل أساسي في نطاق واسع على طول المناطق الساحلية المعرضة للخطر ولا تزال هذه المناطق تجذب المزيد من السكان إليها، وبالتالي فإن ارتفاع منسوب سطح البحر سيكون له أثر عميق على السكان وعلى تطوير البنية التحتية. وتعد المناطق الحضرية في البحرين هي الأكثر تعرضاً لمخاطر ارتفاع منسوب سطح البحر وأمواج التسونامي، وخاصة الوحدات السكنية الجديدة التي تبنى كل عام داخل البحر بعد ردم السواحل القريبة قليلة العمق.

وتشير التقديرات أن مستوى سطح البحر قد ارتفع بنسبة 19 سم في السنوات خلال الفترة 1901-2010 وعلى مدى السنوات المئة المقبلة يمكن أن نتوقع ارتفاعاً إضافياً نحو عدة أعشار من المتر (IPCC, 2014) نتيجة لذوبان الجليد في القطبين بفعل زيادة ثاني أوكسيد الكربون وقد يصل الارتفاع حتى 83 سم. (Reynolds, 2002a).

مع أقل سيناريو لارتفاع مستوى سطح البحر ضرراً من المتوقع إغراق حوالي 5% (26 كم²) من المساحة الكلية لأراضي البحرين. مع زيادة متر واحد من المتوقع إغراق حوالي 10% (69 كم²) من المساحة الكلية للبحرين. ومن المتوقع ضياع نسبة حوالي 11%

تشكل الأعاصير والتسونامي مخاطر طبيعية كبيرة على السواحل التي تكثُر فيها عمليات البناء وتشغيل الموانئ البحرية ومحطات البترول والأرصفة البحرية، ومنصات الحفر الاستكشافي ومنصات استخراج النفط البحري على طول سواحل الخليج العربي وخاصة السواحل البحرينية. وعلاوة على ذلك، وضعت هذه المخاطر الأرواح والممتلكات في المناطق الساحلية في مخاطر جمة، إذ تسبب خسائر في الأرواح والأضرار في الممتلكات، وتحدث تخريباً للنظم الإيكولوجية والمرافق البحرية.

يمكن تحديد العديد من المخاطر الطبيعية التي ضربت سواحل البحرين والمنطقة بشكل عام والتي من الممكن معاودة تهديدها للمنطقة مستقبلاً. كمخاطر التسونامي والتذبذب المناخي. فالتسونامي يحدث بسبب الزلازل عادتاً التي تؤدي إلى توليد أمواج عالية تشكل خطراً كبيراً على المناطق الشاطئية. أما خطر التذبذب المناخي الذي يؤدي إلى حصول ارتفاعات وانخفاضات لعميات المد والجزر غير اعتيادية والتي تسبب تآكل خط الشاطئ بفعل عمليات الحت البحري. كذلك تشكل الأعاصير المدارية الجنوبية الغربية والعواصف الشمالية الغربية خطراً يهدد سواحل الخليج العربي.

وتسهم التضاريس الساحلية دوراً حيوياً خلال تهديد أمواج التسونامي والتذبذبات المناخية، إذ تستجيب التضاريس الساحلية بشكل مختلف لخطر التسونامي والتذبذبات المناخية وذلك حسب بنيتها. لذلك فإنه من الأهمية بمكان دراسة قدرة التضاريس الساحلية بهدف الحد من خطر موجات التسونامي والتذبذبات المناخية من خلال رسم خرائط تبين مدى ضعف الساحل أو قوته في مواجهة هذه المخاطر (Ramasamy et al, 2004).

تمتد سواحل مملكة البحرين على الخليج العربي لنحو 590 كم ويتميز أرخبيل البحرين بسواحل ضيقة قليلة الاتساع. إذ تتكون من 84 جزيرة طبيعية وصناعية، وتشكل جزيرة البحرين 87% من مساحة البلاد وهي الأكبر، تليها جزيرتان كبيرتان نوعاً ما هما المحرق وستره أما باقي الجزر فهي صغيرة، وتبلغ مساحة البحرين 770 كم² وهذه المساحة قابلة للزيادة فهي تزداد كل عام بسبب أعمال ردم البحر المستمرة للمشاريع العمرانية والاقتصادية، فقد كانت مساحة البحرين الأصلية 660 كم² قبل أن تصل للمساحة الحالية (Encyclopædia Britannica, 2012).

يغلب على التضاريس البحرينية السواحل الضيقة التي تتأثر بأمواج المد والتسونامي على حد سواء. ويعتبر تصنيف (Ramasamy et al, 2004) من أهم تصنيفات قدرة التضاريس الساحلية، الذي اقترح فيه الميزات التضاريسية المساعدة لتدقيق أمواج التسونامي ويمكن أن تصنف على أنها عوامل مساعدة، كالأخوار والسهول الساحلية التي تزيد من إمكانية الصعود المدي لأمواج التسونامي وغمر تلك الأماكن. في حين أن التلال الشاطئية والشواطئ الرملية

تتنوع ارتفاعات تيارات المد والجزر حسب المنطقة فتصل الى 1.4 م قرب قطر وتصل الى 3م في أقصى الشمال الغربي على سواحل الكويت، والى 2.8م في أقصى جنوب شرق الخليج. وتصل مستويات المد والجزر الى 2.4م على سواحل البحرين، وتسبب فيضانات واسعة النطاق وخاصة في المناطق المنخفضة كالسيخات (Reynolds, 2002b). زيادة خطر انجراف التربة بفعل الرياح والعواصف والغبار وتحرك الكثبان الرملية، من شأنه أن يدمر الغطاء النباتي وانتشار ظاهرة التملح وتقدم الكثبان الرملية الساحلية حتى الشواطئ.

سنحاول في هذه الدراسة توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) باستخدام عدد من البرامج Arc Gis, Surfer, Global Mapper, Google Earth، بهدف رصد التغييرات التي حدثت في خط الساحل، بالاعتماد على الخرائط الطبوغرافية والصور الفضائية لسواحل البحرين. وسيتم انتاج الخرائط الطبوغرافية والمورفولوجية التي تبين المناطق التي تتأثر بأمواج المد والتسونامي في حال حدوثها على طول سواحل المملكة. وسيتم رسم تغييرات خط الساحل وتوضيح ميزات هذه السواحل وتصنيف مدى مقاومتها لعمليات المد البحري وأمواج التسونامي المحتملة الحدوث.

منهج وطرق البحث

تم الاعتماد على تصنيف (Ramasamy et al, 2004) في دراسة مدى مقاومة التضاريس الساحلية البحرينية والذي يحدد الميزات التضاريسية المقاومة لتدفق أمواج التسونامي وهي التلال الشاطئية والشواطئ الرملية المرتفعة ويمكن أن نضيف عليها أشجار المانغروف وأشجار النخيل الموجودة على بعض أجزاء من السواحل البحرينية، أما العوامل التضاريسية المساعدة فهي مصب النهر، والخور، والسهول الطينية التي تزيد من إمكانية الصعود المدي لأمواج المد والتسونامي. فالتضاريس الساحلية البحرينية تتميز باحتوائها على العوامل المساعدة لتدفق امواج المد والتسونامي وتفتقر على العوامل المقاومة وقد تم تحديدها بشكل مفصل في الشكل (6).

وتم الاستفادة من البيانات المتوفرة من مركز (BODC, 2003) Centenary Edition of the GEBCO Digital Atlas والتي تحتوي على بيانات رقمية لكامل الكرة الأرضية بما فيها أعماق البحار والمحيطات. أيضاً تم الاستفادة من (Smith & Sandwell, 1997) وبرنامج Google Earth لتحديد بعض النقاط على السواحل البحرينية. وتم استخدام العديد من البرامج العلمية لإنجاز الخرائط الطبوغرافية والمورفولوجية، كبرامج ArcGis, Surfer, Global Mapper.

وبهذا تم توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في انجاز هذا البحث الذي يقدم دراسة مفصلة عن تأثير المنطقة الساحلية للبحرين بأمواج التسونامي والتذبذبات المناخية،

من الأراضي الصالحة للزراعة بسبب ارتفاع مستوى سطح البحر. الإضرار بشبكات الصرف الصحي ومشاكل في المياه وارتفاع منسوب المياه الجوفية (الإهامي 2011).

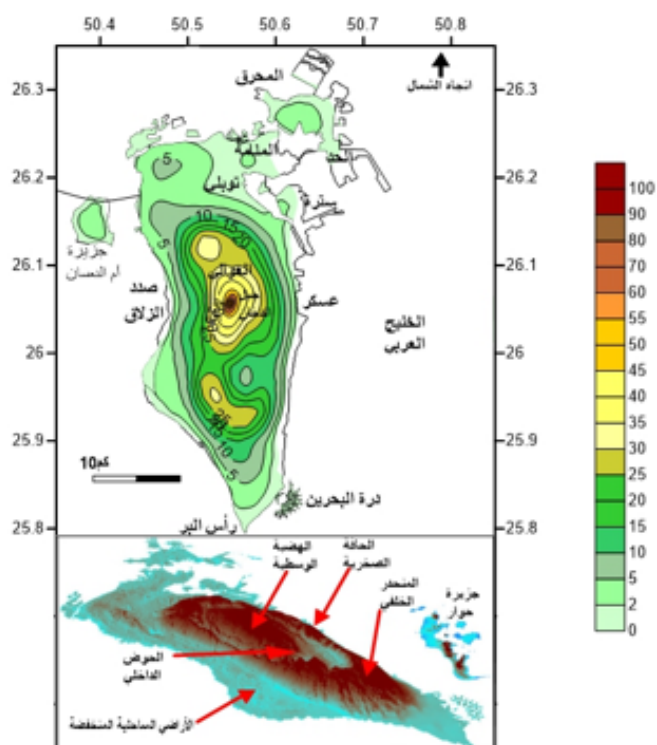
وقد تبلغ مساحات الأراضي التي قد تنغمر بالمياه وتفقد بشكل دائم، عند سيناريوهات المخاطر (إذا ما صحت التوقعات وزاد ذوبان ثلوج جرينلاند والقارة القطبية) لتصل إلى 97 كم²، وذلك عند ارتفاع سطح البحر إلى مترين فوق المستوى الحالي، وهذا يعادل 13% من مساحة المملكة الكلية (Aljenaid, 2012). وإذا ما ارتفع سطح البحر إلى خمسة أمتار، فإن الفقد سيزداد إلى ما يقارب من 23%، أي ما يزيد عن 172 كم².

يوجد عشرات الجزر البحرينية الصغيرة التي تتميز بقلة ارتفاعها عن سطح البحر ومنخفضة السطح، ولا يتعدى ارتفاع 50% من أراضي جزرها 5 أمتار فوق سطح البحر، الأمر الذي سيؤدي إلى إغراقها بأمواج المد والتسونامي ذات الارتفاع المتوسط (5م). بالإضافة إلى قلة الإمكانات المتاحة لإعادة توطين الأراضي المزاحة والبيئات المرافقة لها، إذا ما ارتفع سطح البحر. بناءً على تحليل صور الأقمار الصناعية احتمالية فقدان ما يقرب من 11% من مساحة البحرين نتيجة لارتفاع مستوى سطح البحر لحوالي 50 سم وذلك إذا لم يتخذ أي إجراء لحمايتها (Al Janeid et al., 2008). سوف يؤثر ارتفاع منسوب سطح البحر على زيادة ملوحة المياه الجوفية، وبالتالي سيحدث مزيد من التدهور في جودة الأراضي بالمنطقة، بخلاف التأثير السلبي على التنوع البيولوجي.

تتعرض سواحل البحرين والمنطقة بشكل عام لعواصف مدارية ورياح قوية تؤدي إلى حدوث عواصف رملية لها تأثيرات سلبية وكذلك تأثيرات المد والجزر التي تؤدي إلى انحرافات في منسوب المياه في الخليج عدة أمتار، كما حصل في العاصفة التي حدثت من 17-19 كانون الثاني 1973 على نطاق واسع في الخليج العربي (El-Sabh and Murty, 1989). هذه العواصف الرملية لها تأثيرات سلبية على حركة الملاحة البحرية والجوية التي تؤدي إلى إغلاق المطارات وتعطل النقل البري والبحري والصيد في الخليج العربي وسواحل البحرين، وتؤثر كذلك على الناس إذ تسبب أمراض الجهاز التنفسي ومشاكل في العين، وكذلك فقدان التربة من الأراضي الجافة.

تترافق رياح الشمال التي تهب على الخليج العربي بارتفاع أمواج المد والجزر على غير المعتاد (Murty and El-Sabh, 1984) فقد سجل على سبيل المثال في 24 شباط 2003 بالقرب شواطئ دبي انخفاض مستوى سطح البحر 0.5م تحت مستوى المد والجزر الاعتيادي لنحو 35 دقيقة، وبعد ذلك ارتفع مستوى سطح البحر 1.2م عن المعتاد في ارتفاع المد ولمدة أكثر من خمس دقائق وتشكلت موجة ضربت الشاطئ. وقد كان من نتائج هذا التذبذب المفاجئ في الارتفاع للمد أن غرقت بارجة في ميناء الحميرة (Jordan, et al., 2006).

التي تتشكل غالبا من الرمل والطين والحصى، وتتسع الأراضي الساحلية في الأجزاء الشمالية الغربية والجنوبية وتضيق في الأجزاء الشرقية. تمتاز الأراضي الساحلية بالسطح المتعرج الذي يميل أحيانا إلى الاستواء النسبي، وقد تشكلت هذه الأراضي بفعل عمليات الترسيب التي قامت بها الأودية في العصور المطيرة ومن خلالها تم نقل كميات هائلة من الفتات الصخري من منطقة الحوض الداخلي ليتم ترسيبها في البيئة البحرية المجاورة (Doornkamp, et al., 1980)



شكل (1). الخريطة الطبوغرافية للبحرين مع شكل ثلاثي الأبعاد (Aljenaid, 2012) يوضح التضاريس البحرية

تؤكد دراسة (Doornkamp et al., 1980) حول جيومورفولوجية جزر المملكة، على أن سواحل الجزر الرئيسية تتعرض للتعرية في أجزاء منها، والترسيب في أجزاء أخرى، الجزء الشمالي والغربي من جزيرة البحرين يتعرض للتعرية المستمرة، وتنقل رسوبياته إلى الجزء الجنوبي من الجزيرة، وتعمل ببطء على زيادة توسعة جزيرة البحرين في الجزء الجنوبي منها، وهذه عمليات سادت للفترة الزمنية الماضية، وستواصل، إذا لم تكن هنالك أي تدخلات من قبل الإنسان لتغير هذه العملية الطبيعية. ولقد كان من المحتمل أن تتواصل التعرية أو الترسيب في أجزاء مختلفة من الساحل الشرقي، وأن يؤدي الترسيب إلى ملء منطقة المد والجزر الواقعة بين مدينة المنامة (العاصمة) وستره. وستهيمن عمليات التعرية على الجزر البحرية بشكل عام، مع بروز ترسيب موقعي فيها. وكذلك الإنسان الذي أدى من خلال نشاطه دور العامل الجيومورفولوجي وذلك من خلال قيامه بتردم أجزاء واسعة من الشواطئ الضحلة وتحويلها إلى مناطق يابسة صالحة

لذا يعتبر من الأبحاث الأولية التي عالجت السواحل البحرية بهذا الإطار.
المناقشة

تعتبر دراسة التضاريس الساحلية ومدى مقاومتها للمخاطر المناخية والتسونامي في منطقة الخليج العربي وسواحل البحرين بشكل خاص، ذات أهمية حيوية بالنسبة للسلطات. ويرجع ذلك إلى أهمية المنطقة التي تكثر فيها الموانئ والمرافئ وحقول النفط والمنشآت المرتبطة بها.

مميزات تضاريس البحرين

تتكون البحرين من سلسلة من الجزر التي تتألف في الغالب من الصخور الرسوبية الجيرية، فالطبقات العائدة للإوسين تحتوي على طبقات المياه الجوفية في الجزيرة الرئيسية (Metcalf & Eddy, 1977). وتتميز تضاريس البحرين بوجود الهضبة الوسطية التي تتكون في معظمها من الصخور الكلسية الرسوبية، وأعلى نقطة فيها هي جبل الدخان الذي يصل ارتفاعه إلى نحو 122 مترا فوق سطح البحر (شكل 1). بينما يمثل الحوض الداخلي حلقة غير متماثلة تحيط بالهضبة الوسطية. ويتخلل هذا الحوض مرتفعات متناثرة وهذه عبارة عن مناطق مرتفعة يقل ارتفاعها عن مرتفع الدخان وتوجد بالحوض أيضا مناطق منخفضة. تحتل هذه المناطق أجزاء واسعة من الحوض وتتمثل في مجموعة من الأحواض الأرضية التي تتركز في معظمها في الوسط الجنوبي والجنوبي الشرقي من الحوض، حيث يوجد منخفض الغينة ومنخفض الشبك اللذان ينخفضان بمقدار 5 أمتار دون المستوى العام لسطح الحوض، وإلى جانب ذلك هناك مناطق حوضية صغيرة تنتشر في أنحاء متفرقة. ويلي الحوض الداخلي الحافة الصخرية التي تشكل جرف صخري يتراوح ارتفاعه ما بين 6 و30 مترا فوق مستوى سطح البحر، وهي بمثابة السياج الذي يحيط بالحوض الداخلي (شكل 1). وتشكل الأجزاء العلوية للحافة خط تقسيم المياه بين المنحدرات والسواحل من جهة، والحوض الداخلي من جهة أخرى، فالمياه الساقطة على الحافة إما تتبع الانحدار باتجاه الخارج، وتصل بذلك إلى السواحل أو تتبع الانحدار باتجاه الداخل لتتجمع في أراضي الحوض الداخلي. ويقع المنحدر الخلفي بين الحافة الصخرية والأراضي الساحلية المنخفضة، وهذه المنحدرات هي في حقيقة الأمر السفوح السفلى لثنية البحرين المحدبة القديمة، والتي تم إزالة قممتها وجوانبها العليا بفعل عمليات التعرية. وتتميز الأراضي الساحلية المنخفضة بالسفوح الساحلية التي تشكل حوالي 50% من إجمالي مساحة الجزيرة الرئيسية. وتتألف من سهول رملية وملحية (السيخة) التي تحتل جزءا كبيرا من الساحل، وخصوصا في المنطقة الجنوبية الغربية. بينما توجد السهول الطينية التي تغمر بمياه المد والجزر بشكل رئيسي على الساحل الشرقي. وتتميز خطوط الشاطئ في البحرين بتعرجات لطيفة وغير حادة في الغالب، وذلك نظرا للهدوء النسبي الذي تتمتع به بيئة الموقع البحري، وقد تشكلت في بيئات الشواطئ البحرية العديد من الظواهر الجيومورفولوجية أهمها الرؤوس والأخوار. وتغلب التكوينات الرباعية للسفوح الساحلية

على السهول الساحلية مما يؤدي إلى خسائر كارثية في حال تدفق أمواج المد والتسونامي إليها. كذلك القنوات والجدول تعتبر ناقلة جيدة للأمواج المد والتسونامي التي تسمح لتلك الأمواج بالتوغل في اليابسة لمسافات كبيرة وتحدث دماراً واسعاً.

أما العوامل المقاومة للأمواج التسونامي فهي التلال الشاطئية والكثبان الرملية الساحلية التي تعمل كحواجز طبيعية ولديها القدرة على استيعاب طاقة أمواج التسونامي، وتعتمد قدرة هذه الحواجز على ارتفاعها وعرضها، فكلما كانت عريضة ومرتفعة وممتدة على طول خط الشاطئ كلما كانت قدرتها على صد أمواج المد والتسونامي عالية ولا يوجد مثل هذه المقومات على السواحل البحرينية. كذلك المستنقعات على الرغم من أنها لا يمكن أن تصد موجة التسونامي لكن لديها القدرة على استيعاب الطاقة من موجات المد وتحد من قوتها بشكل كبير. وتتواجد المستنقعات والسبخ الساحلية المالحة في بعض الجيوب على السواحل الغربية والشرقية من جزيرة البحرين قرب عسكر، وفي المناطق الجنوبية بالقرب من رأس البر، وجزر حوار (Al Zayani et al., 2009). أيضاً أشجار المانغروف لها دور كبير في صد أمواج المد العالية وأمواج التسونامي وامتصاص طاقاتها لكنها تنتشر في مناطق قليلة من السواحل البحرينية، فهي تنتشر على السواحل الشمالية الشرقية للبحرين في خليج توبلي، وتكثر مزارع النخيل حول منطقة خليج توبلي الذي يتميز بوجود السواحل الطينية (Mubarak et al., 2015).

تأثير أمواج التسونامي على السواحل البحرينية يأتي تهديد منطقة الخليج العربي بأمواج التسونامي بشكل أساسي من خارج حدودها، وخاصة من منطقة مكران التي تعتبر منطقة اندساس للصفحة العربية أسفل الصفحة الأوراسية، التي تمتد حوالي 900 كم من شرق مضيق هرمز وحتى كراتشي في باكستان، والتي تقع قبالة السواحل الجنوبية لإيران وباكستان في الشمالي الغربي للمحيط الهندي وشمال بحر العرب، وتكثر الزلازل في منطقة التماس بين الصفيحتين التي تؤدي إلى حدوث زلازل قوية التي بدورها تؤدي إلى توليد أمواج التسونامي في المحيط الهندي وبحر العرب. ومنهما تنتقل أمواج التسونامي إلى الخليج العربي عبر مضيق هرمز، وتصل هذه الأمواج إلى شواطئ الخليج العربي، على طول سواحلها وبخاصة السواحل البحرينية منطقة الدراسة، حيث تفقد كثير من قوتها بمرورها عبر مضيق هرمز كعامل مخمد والعامل الأساسي الآخر هو أن الخليج العربي قليل العمق تكثر فيه الجزر الأمر الذي يؤثر على ارتفاع موجة التسونامي وشدها.

حدث العديد من الزلازل المدمرة في منطقة مكران شمال بحر العرب التي أدت إلى حدوث أمواج تسونامي على كامل المناطق المحيطة، كالزلازل التي حدثت عام 326 ق.م، 1008م، 1897م (Heidarzadeh et al., 2008) وكان آخرها الذي حدث عام 1945م زلزال بقوة 8.1 درجة على مقياس ريختر، أدى إلى توليد أمواج تسونامي وبلغ عدد القتلى نحو 4000 قتيل (Pararas)

للعمران البشري ولممارسة النشاطات الاقتصادية المختلفة. تعتبر جزيرة حوار من أهم الجزر الطبيعية التي تتألف في معظمها من الحجر الجيري على شكل جروف صخرية ساحلية ذات انحدار شديد يصل ارتفاعها حتى 8م، وأعلى ارتفاع فيها في وسطها يصل إلى 13م (Pilcher et al., 2003).

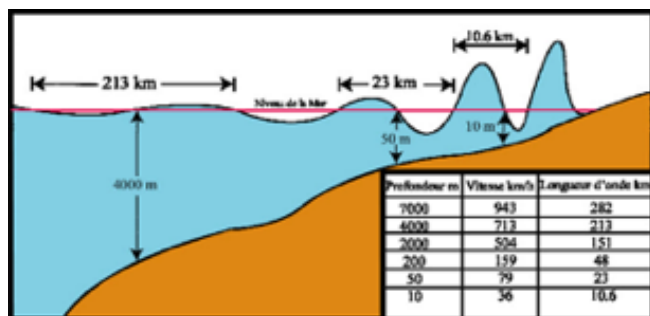
بالنسبة للجزر المحيطة بجزيرة حوار تحتوي على سواحل ضعيفة الانحدار قريبة من مستوى سطح البحر، وكذلك تحتوي على السواحل الطينية التي تنتشر أيضاً على سواحل شمال شرق حوار وحول جزيرة ربض الأمر الذي يشكل عامل مساعد لتدفق أمواج المد والتسونامي بينما الجروف الصخرية المرتفعة في جزيرة حوار تشكل عوامل مقاومة لهذه الأمواج (شكل 2). وتتميز جزيرة حوار بسواحل منخفضة في جزأها الغربي بينما يحتوي الجزء الشرقي على شواطئ صخرية والعديد من الخلجان على شكل القمر، وتحتوي على شواطئ رملية في الجنوب (Pilcher et al., 2003).



شكل (2). الجروف الصخرية الجيرية في جزيرة حوار (Bahrain, NBSAP, 2015)

حسب تصنيف (Ramasamy et al., 2004) بقدرة التضاريس الساحلية على مقاومة أمواج المد والتسونامي يمكن إجمالها في مجموعتين، العوامل المساعدة لتدفق أمواج التسونامي والعوامل المقاومة.

فالعوامل المساعدة في صفات التضاريس الشاطئية، مثل مصب النهر، والخور، والسهول الطينية والسهول الساحلية الواسعة القريبة من خط الشاطئ التي تزيد من إمكانية الصعود المدي للأمواج التسونامي وأمواج المد الأخرى وغمر تلك الأماكن وهذه الصفات تتميز بها السواحل البحرينية التي تنتشر على ما يقارب 50% من مساحة البحرين، وتتسع الأراضي الساحلية في الأجزاء الشمالية الغربية والجنوبية وتضيق في الأجزاء الشرقية. وتمتاز الأراضي الساحلية بالسطح المتموج الذي يميل أحياناً إلى الاستواء الأمر الذي سيؤدي إلى غرق هذه السهول الساحلية بأمواج المد والتسونامي، وتتركز المراكز العمرانية والبنى التحتية والاقتصادية



شكل (3). يوضح سرعة أمواج التسونامي وطول الموجة بحسب العمق (IOC/UNESCO, 1981).

فالتسونامي عبارة عن سلسلة من الموجات، ولا تمثل الموجة الأولى أعلى موجة بل الموجات المتتالية كل 10 إلى 60 دقيقة، ويمكن أن يبقى خطر هذه الأمواج لعدة ساعات بعد وصول الموجة الأولى. يصل طول موجة التسونامي إلى عشرات الكيلومترات وحتى المئات وذلك حسب العمق في البحر أو المحيط، فكلما كان البحر عميق كلما كان طول الموجة أكبر (شكل 3). بينما ارتفاع موجة التسونامي لا تتجاوز المتر الواحد في وسط البحار والمحيطات، وعندما تصل إلى الشواطئ فإنها تنكسر وتتضغط فيتضاعف ارتفاعها الذي قد يصل حتى 30م.

I (intensity proposed) H (m) i		
I-V	<1.0	0
VI	2.0	1
VII-VIII	4.0	2
IX-X	8.0	3
XI	16.0	4
XII	32.0	5

جدول (1). مقياس ارتفاع موجة التسونامي حسب شدة

الزلازل (Papadopoulos & Imamura, 2001).v) لتحديد ارتفاع موجة التسونامي اعتمدنا على مقياس (Papadopoulos & Imamura, 2001) المدرج من 0-5 (جدول 1). بحسب هذا المقياس فالزلازل الذي شدته المتوقعة تعادل 6 درجة على مقياس ريختر، سيعمل على ارتفاع صفحة الماء عند مركز الزلازل إلى 0.25 سم الأمر الذي يؤدي إلى موجة تسونامي تصل إلى 2م. أما الزلازل المتوقع شدته بين 7-8 درجة على مقياس ريختر، سيرتفع عمود الماء عند مركز الزلازل إلى 0.50 سم والذي بدوره سينتج عنه موجة تسونامي تصل من 4-6م.

من خلال دراستنا للتسونامي في منطقة الخليج العربي وما جاورها، نستطيع تحديد نموذجين للتسونامي يمكن لهما أن يهددا السواحل البحرينية.

النموذج الأول: يقع مركز الزلازل المولد للأمواج التسونامي ضمن منطقة الخليج العربي قبالة السواحل البحرينية، كما حدث عام 1008م بالقرب من سيراف على الشواطئ الإيرانية. يصل العمق في هذه المنطقة إلى 50 متر تحت سطح البحر،

(and Carayannis, 2006). وصل ارتفاع أمواج التسونامي في بحر العرب والمحيط الهندي إلى 15م والتي أدت إلى كوارث على المناطق المحيطة في الممتلكات والأرواح، وقد وصلت هذه الأمواج إلى منطقة الخليج العربي عبر مضيق هرمز لكنها كانت قد فقدت معظم قوتها ووصلت ضعيفة إلى سواحل البحرين.

ذكر (Ambraseys and Melville, 1982) بوقوع زلزال عام 1008م الذي أدى إلى حدوث تسونامي في منطقة الخليج العربي وحدد احداثيات موقع الزلزال (27.7°N, 52.3°E) على السواحل الإيرانية للخليج العربي بالقرب من سيراف وقد أدى تسونامي 1008م إلى غرق العديد من السفن وقتل عدد كبير من الناس. وقد جمع (Rastogi, 2007) و (Rastogi and Jaiswal, 2006) قائمة بالزلازل التي أدت إلى حدوث تسونامي في المحيط الهندي وبحر العرب وأثرت على المناطق الساحلية في الخليج العربي وهي الزلازل التي حدثت في أعوام (326ق.م، 1008م، 1524م، 1819م، 1845م، 1945). وتسببت أمواج التسونامي في فيضانات واسعة النطاق على طول السواحل في الخليج العربي ومنها سواحل البحرين مما أدى إلى حدوث وفيات بشرية في المناطق الساحلية المتضررة (Kumar, 2013).

لذلك فإن تهديد أمواج التسونامي لسواحل البحرين ليس بمستبعد ويأتي أولاً من منطقة مكران ذات الزلزالية العالية، وثانياً من زلازل محتملة الحدوث على طول السواحل الإيرانية على الخليج العربي والقريبة من منطقة الاصطدام بين الصفيحة العربية والأوراسية كما حدث في زلزال عام 1008م على السواحل الإيرانية قبالة السواحل البحرينية والتي أدى إلى توليد أمواج تسونامي على السواحل البحرينية وعلى كامل سواحل الخليج العربي، أدت إلى خسائر عديدة في الأرواح والممتلكات، وإن حدوث تكرار لمثل هذه الأمواج وأضرارها على المنطقة ليس مستبعد.

يوجد عاملين هامين يحددان زمن وصول أمواج التسونامي إلى منطقة الشاطئ هما الباثيمتري أي مسح الأعماق البحرية بشكل دقيق. والعامل الثاني هو المسافة بين الشاطئ ومركز الهزة الأرضية المولدة للأمواج التسونامي. وتعتمد شدة التسونامي على شدة الهزة الأرضية وحسب حجم الانهيار تحت البحري في المناطق البحرية شديدة الانحدار.

وترتبط سرعة أمواج التسونامي بشكل أساسي بالعمق ويتسارع الجاذبية، وذلك حسب المعادلة $C = \sqrt{gh}$ حيث C تمثل السرعة و h تمثل العمق و g تمثل تسارع الجاذبية. وتصل سرعة أمواج التسونامي إلى 900 كيلومتر في الساعة. وقد يصل ارتفاع الأمواج عند ارتطامها بالشاطئ إلى 30 متراً على أبعد تقدير. بينما تستطيع أمواج تسونامي ارتفاعها من 3 إلى 6 متر أن تسبب تدميراً كبيراً للسواحل وفقدان الأرواح البشرية (شكل 3).

بالنسبة لارتفاع الأمواج التي ستصل إلى السواحل البحرينية على الخليج العربي القادمة من منطقة مكران، فالدراسات السابقة للتسونامي في شمال بحر العرب أكدت إلى وصول أمواج التسونامي إلى 15م ارتفاعاً، لكن هذه الأمواج تكون على السواحل القريبة من منطقة مركز الزلزال والتي لا يوجد أي عوائق تحد من تقدم أمواج التسونامي.

فأمواج التسونامي القادمة إلى الخليج العربي من منطقة مكران سوف تعبر مضيق هرمز وسوف يؤدي الانعطاف وتغيير الاتجاه في مياه المضيق إلى كبح حدة هذه الأمواج وإلى فقدان بعض من قوتها. فبعد عبور أمواج التسونامي مضيق هرمز وتوغلها ضمن مياه الخليج العربي فإنها تفقد الكثير من قوتها نظراً لقُدومها من منطقة ضيقة وامتدادها على منطقة واسعة على عرض الخليج العربي الأمر الذي يؤدي إلى استيعاب معظم طاقة هذه الأمواج.

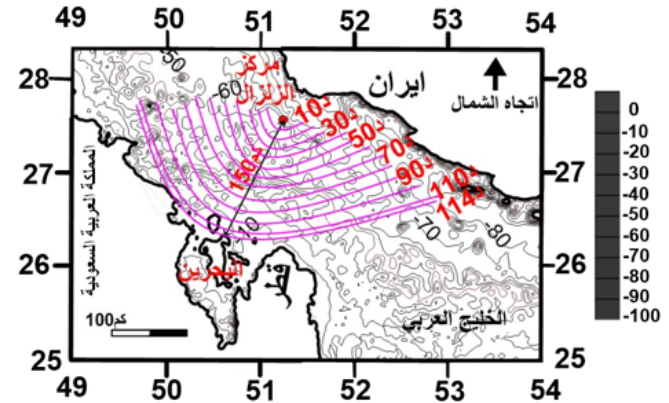
هناك عامل آخر يقلص من قوة أمواج التسونامي القادمة من منطقة مكران، وهو توزع العديد من الجزر المنتشرة على طول الخليج العربي التي تؤدي إلى إضعاف طاقة أمواج التسونامي، وخاصة شبه جزيرة قطر التي تعتبر كحاجز أمام أمواج التسونامي التي ستحمي السواحل البحرينية من أمواج التسونامي العالية وتعتبر كمثبط ومخمد لأمواج التسونامي القادمة إلى السواحل البحرينية. وستتحول هذه الأمواج من أمواج مدمرة إلى أمواج ضعيفة لا يتجاوز ارتفاعها أكثر من مترين على أبعد تقدير عندما تصل إلى السواحل البحرينية وخاصة الجنوبية منها.

المناطق الساحلية البحرينية التي سوف تتأثر بأمواج المد والتسونامي

تم تحديد المناطق الساحلية التي سوف تتأثر بأمواج المد والتسونامي على طول سواحل البحرين على الخليج العربي، من خلال الخرائط المورفولوجية باستخدام برنامج Surfer، وقد حددت المناطق التي سوف تغمر بأمواج تصل حتى مترين فوق مستوى سطح البحر باللون البنفسجي، والسواحل التي سوف تغمر بالأمواج التي تصل إلى 5م باللون الأحمر (شكل 6).

أولاً: المناطق الساحلية المتأثرة بأمواج المد والتسونامي 2م: هذه المناطق تتميز بقلّة ارتفاعها واستواءها مع سطح البحر مع عدم وجود حواجز طبيعية تمنع وصول أمواج المد والتسونامي من اجتياحها، وهي تظهر على الشكل رقم (6) باللون البنفسجي، فهي تنتشر على كامل شواطئ البحرين، وخاصة الجزر، كجزيرة أم النعسان وجزيرة حوار والجزر الصناعية شمال جزيرة البحرين وشمال جزيرة المحرق، فهي بشكل عام ستغرق بأمواج المد والتسونامي 2م، وغالبية هذه الجزر غير مأهولة ولا يوجد فيها مراكز عمرانية أو بنى تحتية كجزيرة حوار وأم النعسان. أما بالنسبة للجزيرة الصناعية (المدينة الشمالية) ففيها أجزاء مأهولة وبنى تحتية، وسيؤدي تدفق أمواج المد والتسونامي 2م إلى إغراقها بشكل كامل وتدمير البنى التحتية فيها.

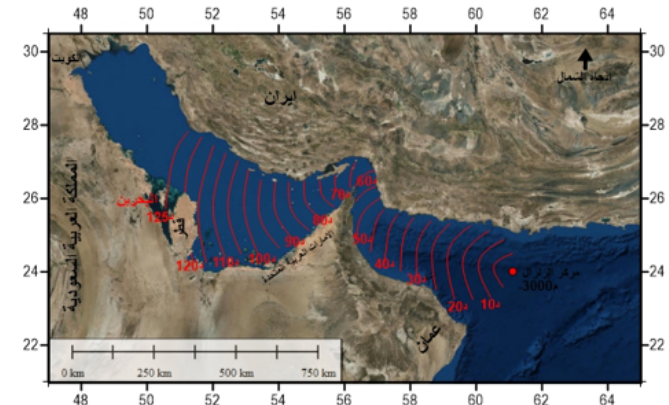
والسرعة تساوي 79 كم/سا (شكل، 4)، وذلك حسب المعادلة $C=\sqrt{gh}$



شكل (4). تدفق أمواج التسونامي على سواحل البحرين من مركز الزلزال المولد لأمواج التسونامي بالقرب من السواحل الإيرانية تقع هذه المنطقة على بعد 150 كيلومتر عن منطقة الساحل البحريني، إذاً ستصل أمواج التسونامي إلى السواحل البحرينية خلال ساعة وأربع وخمسون دقيقة (شكل 4).

حسب مقياس (Papadopoulos & Imamura, 2001) فإذا افترضنا حدوث زلزال شدته بين 7-8 درجة فإن أمواج التسونامي التي ستضرب السواحل البحرينية سيصل ارتفاعها إلى 5م في منطقة الشاطئ التي سوف تسبب اغراق العديد من المناطق الشاطئية والمنشآت الصناعية والمباني وفقدان في الأرواح والممتلكات.

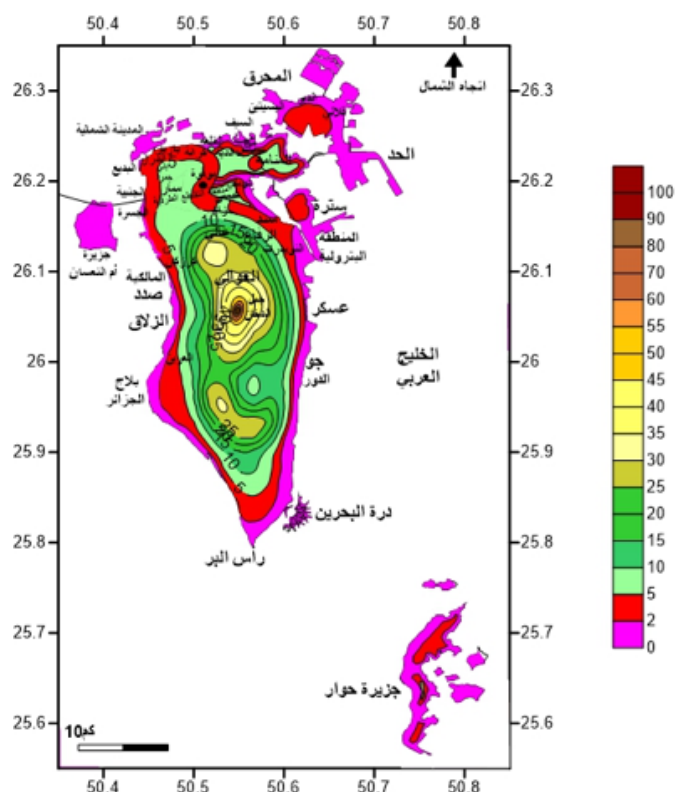
النموذج الثاني: يقع مركز الزلزال شمال بحر العرب (منطقة الاندساس في مكران)، في منطقة التماس بين الصفيحتين العربية والأوراسية (شكل 5). يصل العمق في هذه المنطقة إلى 3000م تحت سطح البحر، والسرعة تساوي 620 كم/سا وذلك حسب المعادلة $C=\sqrt{gh}$ ويبعد هذا المركز مسافة حوالي 1250 كم عن شواطئ البحرين. تحتاج أمواج التسونامي إلى ساعتين وخمس دقائق للوصول إلى سواحل البحرين (شكل 5).



شكل (5). تدفق أمواج التسونامي على سواحل البحرين من مركز الزلزال المولد لأمواج التسونامي من منطقة مكران شمال بحر العرب.

إذ يضيق الشريط الساحلي المتأثر بأمواج المد والتسونامي 2م كلما اتجهنا نحو الشمال حتى نصل إلى بلاج الجزائر عندها تتسع المنطقة الساحلية دون مستوى 2م لتصل حتى 5 كم حيث تستطيع أمواج المد والتسونامي التوغل ضمن هذه المنطقة حتى المنطقة الشجرية إلى الجنوب من العرين (شكل 6). تتميز هذه المناطق باستوائها مع سطح البحر مع عدم وجود أي من المراكز العمرانية أو الاقتصادية لذلك لن تشكل الأمواج المتوغلة ضمن اليابسة أي تهديد للبنى التحتية أو المراكز العمرانية.

تتناقص المنطقة الساحلية المتأثرة بأمواج المد والتسونامي 2م بدءاً من الزلاق باتجاه الشمال حتى شمال صدد والمالكية وكرزكان، ولن تصل هذه الأمواج سوى بضعة عشرات من الأمتار داخل اليابسة، وتكاد تختفي إلى الشمال من الجسرة والجنبية حتى البديع (شكل 6). وتتميز هذه المنطقة بوجود المزارع وأشجار النخيل التي ستعمل كمصدات طبيعية تخفف من أثار تلك الأمواج على السواحل المتضررة.



شكل (6). خريطة تظهر السواحل البحرية المتأثرة بأمواج المد والتسونامي 2م باللون البنفسجي و5م باللون الأحمر.

ثانياً: المناطق الساحلية المتأثرة بأمواج المد والتسونامي 5م:
تعتبر المنطقة الشمالية الغربية من جزيرة البحرين من أكثر المناطق عرضة لمخاطر امتداد أمواج المد والتسونامي 5م، وتتركز في هذه المنطقة كثافة سكانية عالية وبنى تحتية واقتصادية مع انعدام وجود المصدات الطبيعية لهذه الأمواج، لذا ستؤدي هذه الأمواج في حال تدفقها إلى نتائج كارثية للمنطقة. ستتوغل أمواج التسونامي حتى 1كم

سيتعرض الجزء الشمالي والشرقي لجزيرة المحرق إلى اجتياح أمواج المد والتسونامي 2م كما يظهر على الشكل (6)، حيث ستتأثر البنى التحتية والسكنية والاقتصادية للغرق بهذه الأمواج اعتباراً من خط الشاطئ حتى عمق من 2-1 كم في البسيتين والدير وسماهيح وقلالي، أيضاً جزر أمواج والجزر الصناعية المحيطة ستتأثر بهذه الأمواج.

ستتأثر البنى التحتية والاقتصادية والبتروولية في الحد لاجتياح أمواج المد والتسونامي 2م لعدم وجود أي حواجز طبيعية تصد هذه الأمواج، فقد شيدت هذه المنشآت على منطقة سهلية قليلة الارتفاع تكاد تتساوى مع سطح البحر الأمر الذي يجعلها عرضة لهذه المخاطر.

بالنسبة للعاصمة المنامة التي يزدحم فيها السكان والبنى التحتية والاقتصادية، فهي ستتأثر بأمواج المد والتسونامي 2م على أجزاء قليلة من شواطئها وخاصة الأجزاء الشمالية التي تكثر فيها التجمعات السكنية، مع بعض الجزر الصناعية المشيدة بالقرب من الشواطئ الشمالية. أما الشواطئ الشرقية والجنوبية لمدينة المنامة فلن تصل هذه الأمواج سوى لبضعة عشرات من الأمتار ضمن الأحياء الشرقية والجنوبية (شكل 6).

بالإضافة جنوباً نحو خليج توبلي، نلاحظ امتداد على شكل لسان موازي للطريق السريع من خليج توبلي حتى منطقة التقاطع الطرقية على طول 3 كم، وهي منطقة قليلة الارتفاع ستتدفق من خلالها أمواج المد والتسونامي عبر خليج توبلي وتؤدي إلى غرق هذه المنطقة حتى بضعة كيلومترات غرباً. ستتأثر أيضاً الشواطئ على طول خليج توبلي جنوباً لبضعة عشرات الأمتار حتى سند، التي ستكون محمية من أمواج المد والتسونامي لوجود أشجار المانغروف التي تعمل كمصد طبيعي أمام أمواج المد والتسونامي، لكنها لا تمتد كثيراً على المنطقة الشاطئية بحدود 2-1 كم. كذلك انتشار بعض مزارع النخيل على شواطئ خليج توبلي التي ستعمل كمصد طبيعي أمام أمواج المد والتسونامي وتخفف من مخاطرها التدميرية.

ستتأثر جزيرة سترة بأمواج المد والتسونامي 2م وخاصة جزأها الجنوبي الذي يحتوي على البنى الاقتصادية البتروولية التي ستغرق بهذه الأمواج، كذلك شواطئها الشمالية والشرقية ستتأثر بهذه الأمواج التي سوف تتدفق

لبضعة عشرات من الأمتار داخل المرافق السكنية للجزيرة. تضيق المنطقة الساحلية المتأثرة بأمواج المد والتسونامي 2م من النويدات جنوباً حتى عسكر، حيث تتناقص من بضعة مئات إلى بضعة عشرات الأمتار، التي يمكن أن تتعرض لاجتياح الأمواج داخل اليابسة (شكل 6). وتستمر ضيقة بالاتجاه نحو الجنوب إلى ما بعد الدور حيث تتسع قليلاً باتجاه درة البحرين ورأس البر حتى تبلغ بضعة مئات من الأمتار التي سوف تغرق بأمواج المد والتسونامي 2م.

بالنسبة للسواحل الغربية للبحرين انطلاقاً من رأس البر باتجاه الشمال،

وستتناقص المنطقة المتأثرة بالأمواج كلما اتجهنا نحو الجنوب، ولن تستطيع الأمواج الولوج سوى لبضعة مئات من الأمتار داخل اليابسة نظراً لارتفاع المنطقة، كما في مدينة عيسى. لكن ما تلبث أن تزداد عرض المنطقة المتأثرة بأمواج المد والتسونامي حول سند حيث ستتوغل الأمواج حتى 1.5 كم داخل اليابسة نظراً لكون المنطقة منخفضة.

ستغرق منطقة النويدرات بشكل كبير بأمواج المد والتسونامي 5م التي ستحتاج المنطقة بعرض أكثر من 2 كم داخل اليابسة، وستتأثر المنطقة البترولية إلى الجنوب من هذه المنطقة مما يؤدي إلى نتائج كارثية في الأرواح والممتلكات والبنى التحتية والاقتصادية. بينما ستتناقص المنطقة المتأثرة بأمواج المد والتسونامي كلما اتجهنا جنوباً حتى عسكر وتراوح بين بضعة مئات من الأمتار وحتى 1 كم داخل اليابسة (شكل 6).

تتراوح المنطقة المتأثرة بأمواج المد والتسونامي للمنطقة الشاطئية القريبة من جو والدور بين بضعة مئات من الأمتار وحتى 1 كم كحد أقصى داخل اليابسة، وتزداد المنطقة المتأثرة بهذه الأمواج كلما اتجهنا جنوباً حتى شواطئ درة البحرين ورأس البر في أقصى الجنوب. حيث تقدر المنطقة المتأثرة بأمواج المد والتسونامي بدءاً من رأس البر باتجاه الشمال داخل اليابسة حتى 7 كم، ولا تشكل هذه الأمواج ذات خطورة على هذه المنطقة كونها منطقة خالية من أي تجمع سكاني أو بني تحتية، ما عدا درة البحرين التي ستشكل هذه الأمواج خطراً كبيراً عليها.

تضيق المنطقة الشاطئية المتأثرة بأمواج المد والتسونامي باتجاه الشمال على طول الشواطئ الغربية لجزيرة البحرين بدءاً من رأس البر، ولا تتعدى عرض المنطقة المتأثرة 1.5 كم. لكن ما تلبث أن تتسع عند منطقة بلّاج الجزائر لتصل حتى 5 كم عرضاً داخل اليابسة، التي تكون مهددة باجتياح أمواج المد والتسونامي، مما يؤدي إلى إغراق البنى التحتية والسياحية المقامة على طول هذه السواحل.

تتناقص مساحة الشريط الساحلي المتأثر بأمواج المد والتسونامي كلما اتجهنا شمالاً حتى الزلاق، إذ سيصل خطر هذه الأمواج حتى أطراف جامعة البحرين بدءاً من ساحل الزلاق وحتى 2.5 كم داخل اليابسة. حيث ستتأثر مدينة الزلاق بشكل كامل بما فيها البنى التحتية والسكنية. وتنتشر المزارع وأشجار النخيل والأراضي المزروعة على طول المنطقة الساحلية من الزلاق باتجاه الشمال نحو صدد والمالكية وكرزكان وحتى الجسرة والجنوبية شمالاً بطول نحو 20 كم وعرض وسطي 2 كم (شكل 6). أهم ما يميز هذه المنطقة الزراعة، إذ تعتبر المنطقة الزراعية الأولى لمملكة البحرين، وقد أقيمت بعض الموانئ الصغيرة على طول هذه المنطقة سواء للصيد أو للسياحة، مع وجود بعض البنى التحتية والعمرانية منتشرة بشكل متفرق على طول هذه المنطقة. وبالتالي إذا ما تعرضت هذه المنطقة لاجتياح أمواج المد والتسونامي ستفقد البحرين منطقتها الزراعية الأولى وستؤدي إلى تدمير كامل هذه المنطقة.

من جهة الأحياء الغربية وبين 700-400م ضمن الأحياء الشمالية. فمنطقة البديع ستغرق بشكل كامل بما فيها الموانئ الصغيرة على الشواطئ والمرافق والبنى التحتية والسكنية (شكل 6). أما في منطقة الدراز فستغرق العديد من المجمعات السكنية فيها، كمجمع 528، 530، 544، بينما منطقة بني جمرة والمجمعات 536، 538، 540 ضمن منطقة الدراز التي تكون مرتفعة نوعاً ما ومحمية من تهديد هذه الأمواج.

ستتعرض منطقة بربار إلى تدفق أمواج التسونامي حيث ستتوغل حتى بضعة مئات من الأمتار بما فيها المجمعات 508 و 526، وتنتشر بعض المزارع وأشجار النخيل حول بربار التي ستعمل كمصدات طبيعية تقاوم هذه الأمواج من التدفق وتخفف من أضرارها. أيضاً في منطقة كرانة ستتعرض لتدفق أمواج التسونامي حتى بضعة مئات من الأمتار داخل البر، وتوجد بعض المزارع وأشجار النخيل بين كرانة وقلعة البحرين التي ستخفف من قوة الأمواج المتدفقة وتمتص طاقتها.

ستتوغل أمواج المد والتسونامي 5م على محور قلعة البحرين باتجاه الجنوب نحو بوقوة على طرفي الطريق السريع بعرض يتراوح بين 400م وحتى 2 كم وبطول يصل إلى 7 كم من الشاطئ الشمالي حتى منطقة التقاطع الطرقية (الطريق القادم من السعودية مع الطريق القادم من وسط البحرين). أيضاً سوف تتوغل أمواج المد والتسونامي على طرفي الطريق السريع بعرض وسطي يصل إلى 2 كم وبطول 6 كم من خليج توبلي حتى منطقة التقاطع الطرقية، وسوف تتقاطع هذه الأمواج مع الأمواج المتدفقة من الشمال عبر الطريق السريع من محور قلعة البحرين - بوقوة. نلاحظ أن الطرق الرئيسية السريعة في البحرين قد أقيمت على طول الأودية المنخفضة نسبياً، الأمر الذي سوف يؤدي إلى إغراقها وخروجها عن الخدمة في حال تدفق

مثل هذه الأمواج وبالتالي شلل التواصل بين أجزاء البلاد. تعتبر منطقة السيف كشاطئ متقدم في الخليج العربي شمال جزيرة البحرين التي سوف تغرق بالكامل مع البنى التحتية والمرافق الأخرى نظراً لقلّة ارتفاعها أمام أمواج المد والتسونامي 5م. وستحتاج هذه الأمواج أجزاء من سنابس والدية جنوب منطقة السيف حيث ستتوغل حتى نحو 2 كم داخل البر بدءاً من شواطئ السيف (شكل 6).

تتميز الأحياء الشمالية والشرقية للعاصمة المنامة بكونها مرتفعة نسبياً عما يجاورها بحيث تكون محمية من تدفق أمواج المد والتسونامي 5م، التي ستتوغل ضمنها لبضعة عشرات إلى مئات من الأمتار، وبالتالي سيكون تأثير هذه الأمواج أقل خطورة للبنى التحتية والسكنية بالمقارنة مع المناطق الأخرى. أما الأحياء الجنوبية فستتوغل الأمواج فيها أكثر، من بضعة مئات من الأمتار حتى 1 كم داخل البر. نلاحظ وجود منطقة منخفضة وسط المنامة لكنها محاطة بمناطق مرتفعة قليلاً مما يؤدي إلى عدم وصول أمواج المد والتسونامي إليها، كم منطقة الساحة القديمة وحديقة الاندلس وحول البر هامة.

بالإضافة جنوباً نحو توبلي، ستتوغل أمواج المد والتسونامي نحو 2 كم داخل منطقة توبلي حيث ستغرق البنى التحتية والسكنية والاقتصادية،

- يمكن الحد من الأضرار والخسائر في الأرواح والممتلكات من أمواج المد والتسونامي عن طريق القيام بزرع صفوف من أشجار النخيل على طول المناطق الساحلية المنخفضة الذي يمكن أن يساعد في تخفيف الضرر من التسونامي من خلال امتصاص بعض طاقة الموجة. أيضاً زراعة أشجار القرم والشعاب المرجانية والشعاب الاصطناعية لها تأثيرات إيجابية مماثلة. وتعتبر كعامل مساعد لصد أمواج التسونامي وأمواج المد العالية أثناء التذبذبات المناخية غير الاعتيادية، وبالتالي تحمي الشواطئ من هذه المخاطر، وتعتبر واقية للسواحل من التآكل والانجراف بفعل المد والجزر والتيارات والعواصف، وتمنع انجراف التربة، بالإضافة إلى ذلك توفر مكاناً ملائماً لعيش الكثير من الأحياء البحرية والطيور.
- تطوير نظام الإنذار المبكر للتنبؤات الجوية، وتقييم المخاطر ورصد الظواهر المتطرفة مثل العواصف والفيضانات والارتفاع في مستوى سطح البحر وأمواج التسونامي.

المراجع

الإمامي، م.ع.، 2011. التغير المناخي استراتيجيات تكيف التخطيط العمراني حالة دول مجلس التعاون الخليجي. تقنية البناء، العدد 22، 15.

Al-Janeid, S., M. Bahnacy, S. Nasr, and M. El Raey (2008). 'Vulnerability assessment of the impact of sea level rise on the Kingdom of Bahrain'. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 13(1): 87- 104.

Aljenaid, Sabah S. 2012. Development of Coastal Vulnerability Index for the Kingdom of Bahrain. Journal of Earth Science & Engineering; Jun2012, Vol. 2 Issue 6, p328

Alzayani, A.K. 2009. Environmental policies and directions in the Kingdom of Bahrain. 2009. In: Environment in Kingdom of Bahrain- Reality and Challenges. Ed.: Musaiger, A. O. and Zayani, K.A. Bahrain Centre for Studies and Research (In Arabic).

Ambraseys, N.N., Melville, C.P., 1982. A History of Persian Earthquakes. Cambridge University Press, Britain.

Bahrain NBSAP, 2015. Biodiversity Baseline Assessment Report Kingdom of Bahrain, Supreme Council for Environment, Kingdom of Bahrain, 109.

أما بالنسبة لجزيرتي المحرق وستره فستؤدي أمواج المد والتسونامي إلى إغراقهما بشكل كامل، وستؤدي إلى نتائج كارثية نظراً لتركز الصناعات والموانئ البترولية فيها، كذلك تعتبران ذات كثافة سكانية عالية مع البنى التحتية لهما مما يؤدي إلى مخاطر جمة لهاتين الجزيرتين.

نتائج ومقترحات

- يمكن تقسيم البحرين إلى قسمين، قسم شمالي وقسم جنوبي، حيث يعتبر المحور بين عسكر إلى جبل الدخان حتى الزلاق المحور الفاصل بين القسمين، وتركز البنى التحتية والعمرانية والاقتصادية والبترولية في القسم الشمالي ويكاد يخلو القسم الجنوبي من أي مراكز عمرانية.
- تعتبر سواحل البحرين من الناحية الجيومورفولوجية من المناطق ضعيفة المقاومة لأمواج المد والتسونامي وتفتقر للعوامل الطبيعية المقاومة لهذه الأمواج فمعظم سواحلها مستوية قليلة الارتفاع تسمح لأمواج المد والتسونامي بالتوغل ضمن اليابسة لعدة كيلومترات دون عوائق.
- تتركز معظم البنى التحتية للبحرين بالقرب من الساحل البحري السهلي، قليل الارتفاع، التي ستكون معرضة لخطر أمواج المد والتسونامي مباشرة دون أي عوائق. وقد أكد التقرير العالمي بشأن الحد من مخاطر الكوارث لسنة 2009 على أن ما يقارب من 75% من السكان في مملكة البحرين يعيشون في مناطق ساحلية منخفضة مما يجعلها الدولة الخامسة على مستوى العالم عرضة للخطر من الناحية النسبية (تقرير التقييم العالمي بشأن الحد من مخاطر الكوارث، 2009).
- نتيجة للتركز السكاني الكبير والبنى التحتية والصناعات والموانئ البترولية والمناطق الزراعية على السواحل البحرية، فإذا ما حصل تدفق أمواج المد والتسونامي 5م فستؤدي إلى تدمير كبير لمملكة البحرين وتخريب لحوالي 60% من بنيتها الاقتصادية والزراعية والبنية التحتية عدا عن فقد كثير من الأرواح مما يؤدي إلى خسائر كارثية لا يمكن تجنبها.
- عمليات تجريف الرمال البحرية وردم المناطق الساحلية واقتطاع أجزاء من البحر لحساب اليابسة يؤدي إلى زوال الشواطئ قليلة العمق ومواجهة المياه المتوسطة العمق والعميقة نسبياً، وهذه المناطق الجديدة قليلة الارتفاع يجعلها في مواجهة أمواج المد والتسونامي مباشرة دون عوائق الأمر الذي سيؤدي إلى نتائج كارثية.
- نتيجة لقلّة ارتفاع الجزر البحرية سواء الطبيعية أو الصناعية فستغرق بأمواج المد والتسونامي بشكل كلي ما عدا بعض المناطق القليلة المرتفعة في جزيرة حوار، وبالتالي تخريب مواطن الكثير من النباتات والحيوانات حول هذه الجزر وفقدان التنوع البيولوجي.
- إن حدوث عمليات غمر السواحل بمياه البحر وتكرار العواصف وتدفق المياه البحرية على السواحل المنخفضة يؤدي إلى تداخل المياه البحرية المالحة بالمياه الجوفية الساحلية العذبة.

of Petroleum and Minerals, UNESCO, Paris.

Papadopoulos, G. A. and Imamura, F., 2001. A proposal for a new tsunami intensity scale. ITS 2001 Proc., Session 5, No. 5-1, 569– 577.

Pararas-Carayannis, G., 2006. The Potential of Tsunami Generation along the Makran Subduction Zone in the Northern Arabian Sea. Case Study: The Earthquake and Tsunami of November 28, 1945, *Science of Tsunami Hazards* 24(5), 358-384.

Pilcher, N. J., Phillips, R., C., Aspinall, S., Al-Madany, I., 2003. Hawar islands protected area (Kingdom of Bahrain). Management plan, 61. Ramasamy, S.M., Kumanan, C.J., **Saravanavel, J. & Selvakumar, R., Geosystem responses to December 26, 2004,** Tsunami and mitigation strategies for Cuddalore-Nagapattinam coast, Tamil Nadu, *Jour. Geol. Soc. of India*, 68 (2006) 967-983.

Rastogi BK (2007) A historical account of the earthquakes and tsunamis in the Indian Ocean. In: Murty TS, Aswathanarayana U, Nirupama N (eds) *The Indian Ocean tsunami*. Taylor and Francis, London, pp 3–18

Rastogi, B.K., Jaiswal, R.K., 2006. A catalog of tsunamis in the Indian Ocean. *Science of Tsunami Hazard* 25 (3), 128–143.

Reynolds, R.M., 2002a. Meteorology and climate, *The Gulf Ecosystem: Health and Sustainability*, Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands. 41–51

Reynolds, R.M., 2002b. Oceanography, *The Gulf Ecosystem: Health and Sustainability*, Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands. 53–61

Smith, W. H. F., and Sandwell D. T. (1997) Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings, *Science*, v. 277, p. 1957-1962.

BODC, (2003). Published by the British Oceanographic Data Centre (BODC) on behalf of the International Hydrographic Organisation (IHO) and the Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) of UNESECO.

Doornkamp, J.C., Brunsden, D., Jones, D.K.C. 1980. Geomorphology and Pedology of Bahrain. Geoabstract, Norwich.

El-Sabh MI, Murty TS (1989) Storm surges in the Arabian Gulf. *Nat Hazard* 1:371–385

Encyclopædia Britannica, “Bahrain: Land,” 2012, <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/49072/Bahrain>

Heidarzadeh, M., Pirooz, M. D., Zaker, N. H., Yalciner, A. C., Mokhtari, M., Esmacily, A., 2008. Historical tsunami in the Makran Subduction Zone off the southern coasts of Iran and Pakistan and results of numerical modeling, *Ocean Engineering*, 35, 774–786.

IOC-Unesco, 1981. International Bathymetric Chart of the Mediterranean Sea, Scale I: 1000000, Sheet 10, Ministry of Defence, USSR.

IPCC, “Climate Change 2007”, The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change, (2007).

Jordan BR, Baker H, Howari F (2006) Tsunami hazards along the coasts of the United Arab Emirates. Dubai Municipality Publication

Kumar, A., 2013. Natural Hazards of the Arabian Peninsula: Their Causes and Possible Remediation, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 155-180.

Murty, T.S., El-Sabh, M.I., 1984. Storm tracks, storm surges, and sea state in the Arabian Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman. In: El-Sabh (Ed.), *Oceanographic Modeling of the Kuwait Action (KAP) Region*, p. 12-24. University