تأثير أمواج التسونامي والتذبذبات المناخية على التضاريس الساحلية لسواحل المملكة العربية السعودية على الخليج العربي

د. بدر الدين منلا الدخيل*، د. حسين أحمد المحمّد**

* قسم الجغرافية، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة حلب في المناطق المحررة، اعزاز، سورية

** قسم الجغرافيا، كلية اللغة العربية والعلوم الاجتماعية، جامعة القصيم، بريدة ٥١٤٥٢، المملكة العربية

السعودية

مستخلص. تُعد منطقة الخليج العربي واحدة من أكثر المناطق عُرضةً للتأثيرات السلبية للتذبذبات المناخية وأمواج التسونامي في المجالات الحضرية والبيئية والاقتصادية، ويختلف تأثير التضاريس الشاطئية على الأمواج باختلاف أشكالها. يهدف هذا البحث إلى تحديد المناطق التي تتأثر بأمواج التسونامي والتذبذبات المناخية في حال حدوثها على طول سواحل المملكة على الخليج العربي، وذلك وفقاً لسيناريوهات عدّة، إضافةً إلى تصنيف استجابة السواحل لتلك التأثيرات. لقد تمّ استخدام تصنيف (Ramasamy et al, 2008) في دراسة مدى استجابة النظم الجيومورفولوجية الساحلية السعودية على الخليج العربي وتحديد مناطق الغمر المائي، وذلك بناءً على بيانات صادرة عن مركز GEBCO لأعماق البحار والمحيطات، إضافةً لصور الأقمار الصناعية، والخرائط الطبوغرافية، وبيانات الزلازل التاريخية. أظهرت الدراسة الدّوحات، والأخوار، والتّعرجات على طول الشواطئ، والسّباح الملحّية، والتي تُعتبر عوامل مساعدة لتدفّق أمواج المدّ والتسونامي. وبالمقابل تحدّ التّلال الرّملية الشاطئية، وأشجار المانغروف التي تنتشر على نطاقٍ ضيّقٍ من تدفّق أمواج المدّ والتسونامي على طول سواحل رأس أبو قميص، والسواحل الممتدة بين سلوى والعقير، والسواحل الواقعة إلى الشّمال من مدينة الجبيل من رأس الزّور حتى شمال الخفجي عند الحدود الكويتية. أمّا المناطق العمرانية والصّناعية والبترونية، ومحطّات تحلية المياه، والبنى التّحتيّة فتتميّز بسواحل سهليّة ضعيفة خالية من المظاهر الطّبيعيّة المقاومة لتدفّق أمواج المدّ والتسونامي، كما هو الحال في الدّمام والجبيل والخبر وخليج تاروت وخليج شاطئ نصف القمر. كما يبيّن البحث أنّ هناك احتمالاً لغمر ما يقرب من ٤% من مساحة المنطقة الساحلية للمملكة العربية السعودية على الخليج العربي نتيجةً لتدفّق أمواج تسونامي ذات ارتفاع ٢ متر، وما يقرب من ١١% من مساحة المنطقة الساحليّة في حال تدفّق أمواج ذات ارتفاع ٥ متر، التي يمكن أن تتوغّل حتى ١٥ كم ضمن البرّ السّاحلي المنبسط في بعض المناطق الساحلية كمنطقة الجبيل والدّمام. الأمر الذي قد يؤدّي إلى حوادث كارثيّة على

البُنى النَّحْتِيَّة والعمرانيَّة في حال تدفُّق أمواج مَدِّيَّة عالية أو أمواج تسونامي متوسطة الارتفاع، ممَّا يؤدي إلى عدم الاستقرار في المنطقة على نطاقٍ واسع.

كلمات مفتاحية: النَّضَاريس السَّاحلية، أمواج المدّ، تسونامي، الخليج العربيّ، المملكة العربيَّة السُّعُودِيَّة.

1-المقدِّمة

تشكُّل الأعاصير والتسونامي مخاطر طبيعيَّة كبيرة على السَّواحل التي تكثُر فيها عمليَّات البناء وتشغيل الموانئ البحريَّة ومحطَّات البترول، والأرصَفة البحريَّة، ومنصَّات الحفر الاستكشافيّ، ومنصَّات استخراج النِّفط البحريّ على طول سواحل الخليج العربيّ وخاصَّة سواحل المملكة العربيَّة السُّعُودِيَّة. وعلاوة على ذلك وضعت هذه المخاطر أرواح وممتلكات المناطق السَّاحلية في مخاطر جمَّة، إذ تسبِّب خسائر في الأرواح وأضراراً في الممتلكات، وتُحدِّث تخريباً للنُّظم الإيكولوجيَّة والمرافق البحريَّة. يمكن تحديد العديد من المخاطر الطَّبيعية التي ضربت سواحل المملكة والمنطقة بشكلٍ عام والتي من الممكن معاودة تهديدها للمنطقة مستقبلاً. كمخاطر التسونامي والتَّنْذِيب المُنَاحي. فالتسونامي يحدث عادةً بسبب الزَّلَازل التي تودّي إلى توليد أمواج عالية تشكُّل خطراً كبيراً على المناطق الشَّاطِئِيَّة. أمَّا خطر التَّنْذِيب المُنَاحي الذي يؤدي إلى حصول ارتفاعاتٍ وانخفاضات غير اعتياديَّة لعمليات المدّ والجزر، والتي تسبِّب تآكل خط الشَّاطِئ بفعل عمليات الحتّ البحريّ. كما تشكُّل الأعاصير المداريَّة الجنوبيَّة الغربيَّة، والعواصف الشماليَّة الغربيَّة خطراً يهدّد سواحل الخليج العربيّ.

وتسهم النَّضَاريس السَّاحلية دوراً حيويّاً خلال تهديد أمواج التسونامي والتَّنْذِيبات المُنَاحِيَّة، إذ أنَّها تستجيب بشكلٍ مختلفٍ لخطر التسونامي والتَّنْذِيبات المُنَاحِيَّة وذلك بحسب بنيتها. لذا فإنَّ من الأهميَّة بمكان دراسة قدرة النَّضَاريس السَّاحلية بهدف الحدّ من خطر موجات التسونامي والتَّنْذِيبات المُنَاحِيَّة وذلك من خلال رسم خرائط تُبيِّن مدى ضعف السَّاحل أو قوَّته في مواجهة هذه المخاطر.

٢ - أهمية الدراسة ومشكلتها

تمتد سواحل المملكة العربيَّة السُّعُودِيَّة على الخليج العربي لنحو ١٠٠٠ كم، وتتميز بوجود العديد من الشَّعَاب المرجانيَّة والأخوار والدَّوَحَات والرُّؤُوس والكتبان الرَّمْليَّة، تتأثَّر هذه المظاهر النَّضْريسيَّة بأمواج المدّ والتسونامي على حدٍّ سواء. ويُعد تصنيف (Ramasamy et al 2008) من أهمِّ تصنيفات قدرة النَّضَاريس السَّاحلية على امتصاص أمواج التسونامي أو تسهيل تدفُّقها، والذي اقترح فيه الميَّزَات النَّضْريسيَّة المساعدة لتدفُّق أمواج التسونامي، والتي يمكن أن تُصنَّف على أنَّها عوامل مساعدة، مثل: مصب النَّهر، والخور، والسُّهول الطَّيْنِيَّة التي تزيد من إمكانيَّة الصُّعود المَدِّي لأمواج التسونامي وغمر تلك الأماكن. في حين تعمل التَّلَال الشَّاطِئِيَّة

والشواطئ الرملية المرتفعة كحواجز تمتص طاقة أمواج التسونامي. سوف تتأثر سواحل المملكة بشكل متباين بحسب بنية الشاطئ المورفولوجية، وبحسب ارتفاع الشاطئ الملاصق للبحر، ويزيد من هذا الخطر انتشار مناطق منخفضة الارتفاع على الحدود الساحلية، والتي تشكل مصدراً رئيسياً لخطر الفيضانات وخاصة في المدن الساحلية. وترتد المشكلة تفاقمًا مع عدم وجود رصد جيد لهذه الظاهرة في العديد من المناطق الساحلية. كما وتبرز مشكلة فقدان غابات المانغروف على سواحل المملكة كخطر يهدد بتراجع الشواطئ على طول الخليج العربي.

٣- أهداف البحث

سنحاول في هذه الدراسة توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)، وذلك باستخدام عدد من البرامج مثل: Arc GIS، و Surfer، و Global Mapper و Google Earth، بهدف رصد التغيرات التي حدثت في خط الساحل، من خلال الاعتماد على الخرائط الطبوغرافية والصور الفضائية القديمة والحديثة لسواحل المملكة على الخليج العربي. وسيتم إنتاج الخرائط الطبوغرافية والمورفولوجية التي تبين المناطق التي تتأثر بأمواج المدّ والتسونامي في حال حدوثها على طول سواحل المملكة على الخليج العربي. وسيتم رسم تغيرات خط الساحل، وتوضيح ميزات هذه السواحل، وتصنيف

لقد ظهر عدد من الدراسات التي تناولت أمواج تسونامي، وتأثيرها على المناطق الساحلية، وذلك باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، والتي تناولت طرقاً متعدّدة في رصد سيناريوهات تسونامي في عدد من بقاع العالم. ومنها على سبيل المثال (Brunsdon et. al 1996 Fotheringham et al 1998, Tinti, and Armigliato 2003 Lu et. al 2014 Chen et. al 2012 Yrigoyen et. al 2008 Su et. al 2013 Vinayaraj et. al 2016)

أما على صعيد الخليج العربي فقد اقتصرَت الدراسات على الجانب الإيراني من منطقة الخليج العربي، ومنها (Heidarzadeh, ٢٠٠٨) وفيها دراسة خطر التسونامي في منطقة مكران - قبالة السواحل

أما على صعيد الخليج العربي فقد اقتصرَت الدراسات على الجانب الإيراني من منطقة الخليج العربي، ومنها (Heidarzadeh, ٢٠٠٨) وفيها دراسة خطر التسونامي في منطقة مكران - قبالة السواحل

العلميّة لإنجاز الخرائط الطّبوغرافيّة والمورفولوجيّة كبرامج, Surfer Global Mapper, .

تمّ استيراد بيانات رقميةً لكامل منطقة الدّراسة XYZ من مركز (BODC, 2003) عن طريق برنامج Global Mapper، ثمّ تمّ تحويل هذه البيانات الرّقمية إلى خريطة كونتوريّة بواسطة برنامج Surfer، وتصل دقّة البيانات حتى ٥م. كما تمّت الاستفادة من بيانات Google Earth، وتمّ رصد خط السّاحل للمملكة العربيّة السّعودية من خلال مطابقة الخريطة الكونتوريّة مع الصّور الفضائيّة لبرنامج غوغل إرث. وبهذا تمّ توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافيّة في انجاز هذا البحث الذي يُقدّم دراسة مفصّلة عن تأثير المنطقة السّاحلية للمملكة العربيّة السّعودية على الخليج العربيّ بأمواج التسونامي والتّذبذبات المناخيّة، وبهذا يُعدّ هذا البحث من الأبحاث الأوليّة التي عالجت السواحل السّعودية بهذا الإطار.

٥- المناقشة:

تُعَدّ دراسة النّضاريس السّاحليّة ومدى مقاومتها للمخاطر المناخيّة والتّسونامي في منطقة الخليج العربيّ بشكلٍ عام وساحل المملكة العربيّة السّعودية بشكلٍ خاص، ذات أهمية حيوية بالنسبة للسلطات. ويرجع ذلك إلى أهميّة المنطقة التي تكثر فيها الموانئ والمرافئ وحقول النّفط والمنشآت المرتبطة بها.

مدى مقاومتها لعمليات المدّ البحري وأمواج التسونامي المحتملة الحدوث.

٤- منهج وطرق البحث:

لقد تمّ الاعتماد على تصنيف Ramasamy et al, (2008) في دراسة مدى مقاومة النّضاريس السّاحلية السّعودية على الخليج العربيّ، والذي يحدّد الميّزات النّضريسيّة المقاومة لتدفّق أمواج التسونامي وهي: التّلال الشّاطئية، والشّواطئ الرّمليّة المرتفعة، ويمكن أن نضيف عليها أشجار المانغروف وأشجار النخيل الموجودة على بعض أجزاء من السّواحل السّعوديّة الخليجيّة. أمّا العوامل النّضريسيّة المساعدة فهي مصب النّهر، والخور، والشّهول الطّينية التي تزيد من إمكانيّة الصّعود المدّي لأمواج المد والتّسونامي. فالنّضاريس السّاحلية السّعودية على الخليج العربيّ تتميز بالتنوع إذ أنّها تحوي جميع هذه العوامل المقاومة والمساعدة، والتي تمّ تحديدها بشكلٍ مفصّل.

وتمّت الاستفادة من البيانات المتوفّرة من مركز BODC (2003) Centenary Edition of the GEBCO Digital Atlas والتي تحتوي على بيانات رقميةً لكامل الكرة الأرضيّة بما فيها أعماق البحار والمحيطات، كما تمّت الاستفادة من Smith, and (Sandwell 1997) وبرنامج Google Earth لتحديد بعض النّقاط على السّواحل السّعودية للخليج العربيّ. كما تمّ استخدام العديد من البرامج

١,٥ - مميزات التضاريس الساحلية السعودية على الخليج العربي:

يمتد السهل الساحلي للخليج العربي في المملكة العربية السعودية من حدودها مع دولة الكويت شمالاً، شمال رأس الخفجي، حتى حدودها مع دولة قطر في أسفل دوحة سَلَوَى. ثم يمتد هذا السهل مرةً أخرى لمسافةٍ قصيرةٍ بعد شبه جزيرة قطر وذلك حول دوحة دُوَيْهَن جنوب حُور العديد. ويبلغ طول هذا السهل مع تعاريجه أكثر من ١٠٠٠ كيلو متر. وهو محصورٌ في معظمه بين هضبة الصّمان غرباً والخليج العربي شرقاً. ويختلف اتّساعه من مكان إلى آخر، حيث يتراوح بين ٦٠ كيلومتر في شمال الخفجي، إلى ١٣٠ كيلو متر غرب مدينة الدّمام.

تعود صخور هذا السهل إلى حقب الحياة الحديثة (السينوزوي)، وتتألف من الترسبات البحرية والمفتتات القارية. ويمتاز هذا السهل إجمالاً بانبساطه وقلة ارتفاعه عن مستوى سطح البحر، حيث يرتفع ببطءٍ نحو الغرب بمعدل مترٍ واحدٍ لكلٍ كيلو متر، لذا تنتشر عليه السّباح الملحّة الواسعة وبخاصّةٍ بالقرب من مياه الخليج، وتتكون هذه السّباح من خليط من الأملاح والغرين والطّين والرّمال. كما تغطّي سطحه المتموّج الفرشات الرّملية الثّابتة إلى الشّمال من مدينة الجبيل، وإلى الجنوب منها تمتدّ رمال البيضاء التي تتكون من رمالٍ وكثبانٍ رمليةٍ متحرّكة تتسع باتجاه الجنوب حتى تتصل جنوب واحة الهفوف برمال الجافورة. وتتكوّن الأماكن التي لا تغطيها الرّمال

والسّباح من صخورٍ جيريّةٍ جرداء تعود لعصور الأيوسين والميوسين من الرّمن الجيولوجي الثّالث. ويتميّز خطّ السّاحل بأنّه كثير التعاريج عموماً بسبب ضحالة مياه الخليج، لذا تكثر فيه الرّؤوس والخلجان (الدّوحات) الصّغيرة والشّعاب المرجانيّة. كما تنتشر على مقربةٍ منه الجزر الصّغيرة التي تغمر معظمها المياه أحياناً. وتتميز تكوينات الرّمن الثّالث والتكوينات الرّباعية بانتشار الصّخور الكلسيّة (الجيريّة)، وتحتوي على الشّواطئ قليلة الارتفاع والشّعاب والتّلال. وتتميّز بوجود سلسلةٍ من المنحدرات الصّغيرة التي ترتفع إلى مترٍ أو أكثر، وتكثر في هذه المنطقة السّبخات التي ترتفع بضعة أمتارٍ فوق مستوى سطح البحر وخاصّة جنوب الدّمام، والكثبان الرّملية حتى صحراء الجافورة. يرتفع السهل الساحلي تدريجيّاً حتى الحافة الشّرقية لتكوينات الحجر الجيري التي تتقطّع بالواحات كواحة الهفوف، وتكثر في هذه التكوينات المنحدرات والكهوف وبعض الينابيع (Vincent, 2008).

بحسب تصنيف (Ramasamy et al, 2008) يمكن إجمال قدرة التضاريس الساحلية على مقاومة أمواج المدّ والتسونامي في مجموعتين، **العوامل المساعدة** لتدقيق أمواج التسونامي، **والعوامل المقاومة**.

فأما العوامل المساعدة في صفات التضاريس الشاطئية، مثل: مصب النّهر، والخور، والسّهول الطّينية، والسّهول الساحليّة الواسعة القريبة من خطّ

سلوى والعقير، والسواحل الواقعة إلى الشمال من مدينة الجبيل من رأس الزور حتى شمال الخفجي عند الحدود الكويتية.

٢,٥- تأثير أمواج التسونامي على السواحل السعودية في الخليج العربي:

يوجد عاملين هامّين يحدّدان زمن وصول أمواج التسونامي إلى منطقة الشاطئ، هما: الباتيمتري أي مسح الأعماق البحرية بشكل دقيق، والمسافة بين الشاطئ ومركز الهزّة الأرضيّة المولّدة لأمواج التسونامي. وتعتمد شدّة التسونامي على حسب شدّة الهزّة الأرضيّة، وحسب حجم الانهيار تحت البحري في المناطق البحريّة شديدة الانحدار.

وترتبط سرعة أمواج التسونامي بشكلٍ أساسيٍّ بالعمق وتساارع الجاذبيّة، وذلك حسب المعادلة $C = \sqrt{gh}$ حيث تمثّل C السّرعَة، وتمثّل h العمق، وتمثّل g تسارع الجاذبيّة (IOC/UNESCO, 1981). وتصل سرعة أمواج التسونامي إلى ٩٠٠ كيلومتر في السّاعة. وقد يصل ارتفاع الأمواج عند ارتطامها بالشاطئ إلى ٣٠ متراً على أبعد تقدير. وتستطيع أمواج تسونامي التي يبلغ ارتفاعها من ٣ إلى ٦ متر أن تسبّب تدميراً كبيراً للسواحل وفقداناً في الأرواح البشرية (شكل ١).

الشاطئ فهي تزيد من إمكانية الصّعود المدّي لأمواج التسونامي وأمواج المدّ الأخرى وغمر تلك الأماكن بالمياه. وتكثر هذه الصّفات على السواحل السّعودية للخليج العربيّ كسواحل: الدّمام، والجبيل، والخبر، وخليج تاروت، وخليج شاطئ نصف القمر. كما تُعدّ القنوات والجداول ناقلاً جيّداً لأمواج المدّ والتسونامي والتي تسمح لتلك الموجات بالتّوغل في اليابسة لمسافاتٍ كبيرةٍ لتُحدث دماراً واسعاً.

وأما العوامل المقاومة لأمواج التسونامي فهي، التّلال الشّاطئية، والكثبان الرّملية السّاحلية التي تعمل كحواجز طبيعيّة لديها القدرة على استيعاب طاقة أمواج التسونامي، وتكمن قدرة هذه الحواجز في ارتفاعها وعرضها، فكلّما كانت عريضةً ومرتفعةً وممتدّةً على طول خطّ الشاطئ كلّما كانت قدرتها على صدّ أمواج المدّ والتسونامي أعلى. أما بالنّسبة للمستنقعات: فعلى الرّغم من أنّها لا يمكن أن تصدّ موجة التسونامي إلّا أنّ لديها القدرة على استيعاب طاقة موجات المدّ، والحدّ من قوّتها بشكلٍ كبير. كما أنّ لأشجار المانغروف دوراً كبيراً في صدّ أمواج المدّ العالية وأمواج التسونامي وامتصاص طاقاتها. وتنتشر هذه العوامل المقاومة أيضاً في بعض الأماكن على طول السواحل الخليجيّة السّعوديّة كسواحل رأس أبو قميص، والسواحل الممتدة بين

شكل (١). يوضح سرعة أمواج التسونامي وطول الموجة بحسب العمق (IOC/UNESCO, 1981).

٠,٥٠ سم، ومن ثم سينتج عنه موجة تسونامي تصل من ٤ - ٦ م.

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

النموذج الأول: يقع مركز الزلزال المولد للأمواج التسونامي ضمن منطقة الخليج العربي قبالة السواحل السعودية، كما حدث عام ١٠٠٨م بالقرب من سيراف على الشواطئ الإيرانية، ويصل العمق في هذه المنطقة إلى ٥٠ متر تحت سطح البحر، والسرعة إلى ٧٩ كم/سا (شكل، ٢)، وذلك حسب المعادلة

$$c = \sqrt{gh}$$

تقع هذه المنطقة على بعد ١٨٠ كيلومتر عن منطقة الساحل السعودي، إذاً ستصل أمواج التسونامي إلى منطقة الساحل السعودي خلال ساعتين ونصف، وذلك إلى الشاطئ الأقرب وهو خليج تاروت، بينما تحتاج الأمواج إلى ساعتين وأربعين دقيقة للوصول إلى شاطئ الدمام (شكل ٢).

فالتسونامي عبارة عن سلسلة من الموجات، ولا تمثل الموجة الأولى أعلى موجة بل الموجات المتتابعة كل ١٠ إلى ٦٠ 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 عميقاً كلما كان طول الموجة أكبر (شكل ١). بينما لا يتجاوز ارتفاع موجة التسونامي المتر الواحد وسط البحار والمحيطات، وعندما تصل إلى الشواطئ فإنها تتكسر وتتضغط فيتضاعف ارتفاعها الذي قد يصل حتى ٣٠م.

يُعتمد في تحديد ارتفاع موجة التسونامي على مقياس (Papadopoulos & Imamura, 2001) المدرج من 0-5. بحسب هذا المقياس فالزلازل الذي تعادل شدته المتوقعة ٦ درجة على مقياس ريختر، سيعمل على رفع صفحة الماء عند مركز الزلزال إلى ٠,٢٥ سم الأمر الذي يؤدي إلى موجة تسونامي تصل إلى ٢م. أمّا الزلازل المتوقعة شدته بين ٧-٨ درجة على مقياس ريختر، فسيرتفع عمود الماء عند مركزه إلى

شكل (٢). تدفّق أمواج التسونامي على سواحل السعودية من مركز الزلزال المولد لأمواج التسونامي بالقرب من السواحل الإيرانية.

النموذج الثاني: يقع مركز الزلزال شمال بحر العرب (منطقة الاندساس في مكران)، وذلك في منطقة التماس بين الصفيحتين العربية والأوراسية (شكل ٣)، كما يصل العمق في هذه المنطقة إلى ٣٠٠٠ م تحت سطح البحر، وتصل السرعة إلى ٦٢٠ كم/سا وذلك حسب المعادلة $C = \sqrt{gh}$ ويبعد هذا المركز مسافة حوالي ١٢٠٠ كم عن أقرب شاطئ للمملكة العربية السعودية في رأس أبو قميص، وتحتاج أمواج التسونامي إلى ساعتين للوصول إليه (شكل ٣).

وتحتاج أمواج التسونامي إلى أكثر من أربع ساعات حتى تصل إلى سواحل مدينة الخفجي في أقصى شمال السواحل السعودية على الخليج العربي نظراً لبعدها عن مركز الزلزال.

بحسب مقياس (Papadopoulos & Imamura, 2001) إذا افترضنا حدوث زلزال شدته بين ٧-٨ درجة، فإنّ أمواج التسونامي التي ستضرب السواحل السعودية سيصل ارتفاعها إلى ٥ م في منطقة الشاطئ وسوف تسبب بإغراق العديد من المناطق الشاطئية والمنشآت الصناعية والمباني وإلى فقدان في الأرواح والممتلكات (شكل ٦).

شكل (٣). تدفق أمواج التسونامي على سواحل السعودية من مركز الزلزال المولد لأمواج التسونامي من منطقة مكران شمال بحر العرب.

مركز الزلزال والتي لا يوجد فيها أي عوائق تحد من تقدم أمواج التسونامي. إن أمواج التسونامي القادمة من منطقة مكران إلى الخليج العربي سوف تعبر مضيق هرمز، وسيؤدي الانعطاف وتغيير الاتجاه في مياه المضيق إلى كبح حدة هذه الأمواج، وإلى فقدانها بعضاً من قوتها، حيث تفقد أمواج التسونامي بعد عبورها مضيق هرمز وتوغلها ضمن مياه الخليج العربي الكثير من قوتها وذلك نظراً لقدومها من منطقة ضيقة وامتدادها على منطقة واسعة على عرض الخليج العربي الأمر الذي يؤدي إلى استيعاب معظم طاقة هذه الأمواج.

وتحتاج أمواج التسونامي إلى ساعتين وعشرين دقيقة حتى تصل إلى مدينة الدمام، وإلى ساعتين وخمس وأربعين دقيقة حتى تصل إلى سواحل الخفجي في أقصى شمال سواحل السعودية على الخليج العربي (شكل ٣).

بالنسبة لارتفاع الأمواج التي ستصل إلى السواحل السعودية على الخليج العربي القادمة من منطقة مكران، فقد أكدت الدراسات السابقة للتسونامي في شمال بحر العرب إلى وصول ارتفاعها إلى ١٥ م ، تتواجد هذه الأمواج على السواحل القريبة من منطقة

ذكرَ (Ambraseys and Melville, 1982) بوقوع زلزالٍ عام ١٠٠٨م، والذي أدى إلى حدوث تسونامي في منطقة الخليج العربي، وحدّد احداثيات موقع الزلزال (27.7°N , 52.3°E) على السّواحل الإيرانيّة للخليج العربيّ بالقرب من سيراف والتي يقابلها على الضّفة الأخرى للخليج العربي مدينة الدّمام على السّواحل السّعوديّة. وقد أدى تسونامي ١٠٠٨م إلى غرق العديد من السّفن، وإلى قتل عددٍ كبيرٍ من النّاس.

وقد جَمَعَ (Rastogi, 2007) و (Rastogi and Jaiswal, 2006) قائمةً بالزّلازل التي أدّت إلى حدوث تسونامي في المحيط الهندي وبحر العرب، وأثّرت على المناطق السّاحلية في الخليج العربي، وهي الزلازل التي حدثت في أعوام (٣٢٦ق.م، ١٠٠٨م، ١٥٢٤م، ١٨١٩م، ١٨٤٥م، ١٩٤٥). وتسبّبت أمواج التسونامي بحدوث فيضاناتٍ واسعة النّطاق على طول السّواحل في الخليج العربي ومنها سواحل المملكة العربيّة السّعوديّة ممّا أدى إلى حدوث وفياتٍ بشريّة في المناطق السّاحلية المتضرّرة (Kumar, 2013).

لذلك فإنّ تهديد أمواج التسونامي لسواحل السّعودية على الخليج العربي ليس بمُسْتبعد، والذي يأتي أوّلاً من منطقة مكران ذات الزّلزالية العالية، وثانياً من زلازل محتملة الحدوث على طول السّواحل الإيرانيّة على الخليج العربي والقريبة من منطقة الاصطدام بين الصّفيحة العربيّة والأوراسيّة، وذلك كما حدث في

كما أنّ هناك عاملاً آخر يُضعف من قوة أمواج التسونامي القادمة من منطقة مكران وهو توزّع العديد من الجزر المنتشرة على طول الخليج العربي، وخاصّة شبه جزيرة قطر وجزيرة البحرين اللّتين ستحميان السّواحل السّعودية من أمواج التسونامي العالية، وتُعتبران كمثبّطات ومخمّدات لأمواج التسونامي القادمة إلى السّواحل السّعوديّة، وستتحول هذه الأمواج من أمواج مدمّرة إلى أمواج ضعيفة لا يتجاوز ارتفاعها أكثر من مترين على أبعد تقدير، وذلك عندما تصل إلى السّواحل السّعوديّة وخاصّة الشّمالية منها.

أدّى حدوث العديد من الزّلازل المدمّرة في منطقة مكران شمال بحر العرب إلى حدوث أمواج تسونامي على كامل المناطق المحيطة لها، كالزلازل التي حدثت عام ٣٢٦ق.م، ١٠٠٨م، ١٨٩٧م (Heidarzadeh *et al.*, 2008) وكان آخرها الزلزال الذي حدث عام ١٩٤٥م بقوة ٨,١ درجة على مقياس ريختر، وأدّى إلى توليد أمواج تسونامي، وبلغ عدد القتلى فيه إلى نحو ٤٠٠٠ قتيل (Pararas and Carayannis, 2006). ووصل ارتفاع أمواج التسونامي في بحر العرب والمحيط الهندي إلى ١٥م والتي أدت إلى كوارث على المناطق المحيطة في الممتلكات والأرواح، وقد وصلت هذه الأمواج إلى منطقة الخليج العربي عبر مضيق هرمز، لكنّها كانت قد فقدت معظم قوّتها ووصلت ضعيفةً إلى سواحل المملكة.

المحتملة في تدفق الجليد، كما توقع باحثون آخرون أن تصل الزيادة إلى ٥-٦ م في حالة انهيار الطبقات الجليدية في القطب الجنوبي.

وسوف تتأثر سواحل المملكة على الخليج العربي بشكل متباين وذلك بحسب بنية الشاطئ المورفولوجية، وبحسب ارتفاع الشاطئ الملاصق للبحر (شكل ٦). يزيد من هذا الخطر انتشار مناطق منخفضة الارتفاع على الحدود الساحلية. كما وتزداد المشكلة تفاقمًا مع عدم وجود رصد جيد لهذه الظاهرة في العديد من المناطق الساحلية، ومع نقص المعلومات المتوفرة عن هبوط الأرض نتيجة لاستخراج النفط والغاز منها. ومن ناحية أخرى فإن التحضر السريع والغير المنضبط أحياناً، والذي يحدث بشكل أساسي في نطاق واسع على طول المناطق الساحلية المعرضة للخطر، والتي لا تزال تجذب المزيد من السكان إليها، أثراً عميقاً في زيادة الخطر على السكان وعلى تطور البنية التحتية في حال ارتفاع منسوب سطح البحر. وتعد المناطق الحضرية في المملكة العربية السعودية هي الأكثر تعرضاً لمخاطر ارتفاع منسوب سطح البحر وأمواج التسونامي، مثلما في مدينة الدمام ومحيطها وخليج تاروت والجبيل حيث تضاعف النمو الحضري عدة مرات خلال ٤٣ سنة الماضية (شكل ٤) ما بين عامي ١٩٦٧-٢٠١٠م.

زلزال عام ١٠٠٨م على السواحل الإيرانية قبالة السواحل السعودية، والذي أدى إلى توليد أمواج تسونامي على السواحل السعودية وعلى كامل سواحل الخليج العربي، أدت إلى خسائر عديدة في الأرواح والممتلكات، وإن حدوث تكرار لمثل هذه الأمواج وأضرارها على المنطقة ليس بمستبعد.

٣.٥- تأثير التذبذبات المناخية على السواحل

السعودية في الخليج العربي:

من المتوقع أن يؤدي التذبذب المناخي إلى تفاقم الكثير من الظواهر المتطرفة والتي ستزداد حدة وتواتراً، ومنطقة الخليج ليست بمعزل عن هذه الظواهر، مثل: الأعاصير، والزوابع، وموجات المد البحري مثل إعصار جونو الذي حدث مؤخراً في عمان، وكالعاصفة الرملية في مايو ٢٠٠٤ والتي هبت من الصحراء الإيرانية باتجاه الخليج، واجتاحت الكويت والساحل الشرقي من المملكة العربية السعودية والبحرين وقطر والإمارات العربية المتحدة (إلهامي، ٢٠١١).

يؤدي التغير المناخي إلى ارتفاع مستوى سطح البحر والذي يمثل خطراً كبيراً بالنسبة للمدن الساحلية، ويكون على شكل غمر المناطق الساحلية بالمياه وزيادة ملوحة التربة. وقد شهد القرن الماضي ارتفاعاً في مستوى سطح البحر وصل الى حوالي ١٧ سم، وتوقعت لجنة الأمم المتحدة للتغير المناخي الدولي أن يصل ارتفاع مستوى سطح البحر الى ١,٤ م بحلول عام ٢١٠٠ وذلك نتيجة التغيرات الديناميكية

شكل (٤). تطوّر المناطق الحضريّة والعمرانيّة في مدينة الجبيل بين عامي ١٩٦٧ – ٢٠١٠

المصدر: (Al-Abdulkader, & Loughland, 2011).

نتيجةً لذوبان الجليد في القطبين بفعل زيادة ثاني اوكسيد الكربون، وقد يصل الارتفاع حتى ٨٣ سم (Reynolds, 2002a).

تتعرض سواحل المملكة العربيّة السّعودية على الخليج العربيّ والمنطقة بشكلٍ عامٍّ لعواصف مداريّة ورياحٍ قويّةٍ تؤدي إلى حدوث عواصف رمليةٍ لها تأثيراتٍ سلبيةٍ، إضافةً إلى أنّ تأثيرات المدّ والجزر تؤدي إلى انحرافاتٍ في منسوب المياه في الخليج لعدّة أمتار، وذلك مثلما حصل في العاصفة التي حدثت من ١٧-١٩ كانون الثاني ١٩٧٣ على نطاق واسعٍ في الخليج العربيّ (El-Sabh and Murt, 1989). إنّ لهذه العواصف الرّملية تأثيراتٍ سلبيةٍ على حركة الملاحة البحريّة والجويّة التي تؤدي إلى

بناءً على تحليل صور الأقمار الصّناعية فهناك احتماليّة لفقدان ما يقرب من ١١% من مساحة المنطقة السّاحليّة للمملكة العربيّة السّعودية نتيجةً لارتفاع مستوى سطح البحر لحوالي ٥٠ سم، وذلك في حال لم تُتخذ الإجراءات المناسبة لحمايتها (إلهامي، ٢٠١١)، وسيؤثر ارتفاع منسوب سطح البحر على زيادة ملوحة المياه الجوفيّة، وبالتالي سيحدث المزيد من التّدهور في جودة الأراضي، إضافةً إلى التّأثير السّلبّي على التّنوع البيولوجي.

وتشير التّقدّيرات على أنّ مستوى سطح البحر قد ارتفع بنسبة ١٧ سم في السّنوات ال ٥٠ الماضية، ويمكن أن نتوقّع ارتفاعاً إضافيّاً بنحو ٥٠ سم على مدى السّنوات المئة المقبلة (IPCC, 2014)، وذلك

على سواحل المملكة العربية السعودية، وتسبب فيضانات واسعة النطاق وخاصة في المناطق المنخفضة كالسبخات (Reynolds, 2002b).

يُدمر انجراف التربة - بفعل الرياح والعواصف والغبار وتحرك الكثبان الرملية - الغطاء النباتي، وينشر ظاهرة التملح، كما يؤدي إلى تقدم الكثبان الرملية الساحلية حتى الشواطئ. تُظهر الصور الفضائية تدمير غابات المانغروف، واضطراب البيئات الساحلية خلال ٣٠ عاماً، نتيجة للنمو الحضري المستشري وغير المخطط له على طول الساحل السعودي وذلك من تاروت وخليج تاروت حتى جنوب مدينة الدمام.

تسبب تطور البنية التحتية الحضرية على طول سواحل الخليج العربي للمملكة العربية السعودية باضطراب كبير للبيئة والنظام البيئي لغابات المانغروف الساحلية خلال ٤٠ سنة الماضية، ويظهر ذلك في صور الأقمار الصناعية لاندسات MMS عام ١٩٧٣ ولاندسات ETM عام ١٩٩٩ والتي توضح تقهقر وانحسار غابات المانغروف، وزيادة البنى التحتية الحضرية في خليج تاروت (شكل ٥). حيث تناقصت غابات المانغروف من ٦٢٢ هكتار عام ١٩٧٣ إلى ٣٩٠ هكتار عام ١٩٩٩. ويعد هذا مؤشراً على الإهمال البيئي، وتجاهلاً للثروات الطبيعية في المنطقة (Khan and Kumar, 2009).

إغلاق المطارات، وتعطيل النقل البري والبحري، والصّيد، وإلى فقدان التربة من الأراضي الجافة، إضافة لتأثيرها على الناس إذ تسبب أمراضاً في الجهاز التنفسي ومشاكل في العين.

تترافق رياح الشمال التي تهب على الخليج العربي بارتفاع أمواج المد والجزر على غير المعتاد (Murty and El-Sabh, 1984) فقد سُجل على سبيل المثال في ٢٤ شباط ٢٠٠٣ بالقرب شواطئ دبي انخفاض مستوى سطح البحر ٠,٥ م عن مستوى المد والجزر الاعتيادي لنحو ٣٥ دقيقة، وبعد ذلك ارتفع مستوى سطح البحر ١,٢ م 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). ويُفسر حدوث هذه التذبذبات نتيجة هبوب العواصف بفعل الرياح القوية، وقد تكرّر حدوث مثل هذه التذبذبات في ارتفاع المد والجزر في ١١ كانون الثاني ٢٠٠٥ والذي أدى إلى فقدان أحد عمال البناء على الشاطئ في الإمارات كنتيجة لهذه الأمواج الغير اعتيادية بسبب ترافق المد والجزر مع العواصف، وقد وصل ارتفاع هذه الأمواج إلى ٤ م (Gulfnews, 2005). تتنوع ارتفاعات تيارات المد والجزر بحسب المنطقة حيث تصل إلى ١,٤ م قرب قطر، وإلى ٣ م في أقصى الشمال الغربي على سواحل الكويت، وإلى ٢,٨ م في أقصى جنوب شرق الخليج. وإلى ٢,٤ م

شكل (٥). انحسار غابات المانغروف على سواحل الدّمام وخليج تاروت بين عامي ١٩٧٣ و ١٩٩٩ (Khan and Kumar, 2009).

من الأراضي الصّالحة للزّراعة قد تحوّلت إلى منشآتٍ سكنيّةٍ وصناعيّةٍ. وتغيّرت بذلك البيئة البحريّة في خليج تاروت. كذلك الحال بالنّسبة للمستنقعات والكتبان الرّملية السّاحلية والتّشكيلات الصّخريّة والأخوار فقد تحوّلت إلى مرافق صناعة النّفط والمجمّعات الصناعيّة (Al-Abdulkader and Loughland, 2011).

ولاتزال المنطقة السّاحلية من رأس المشعاب، السّفانية، تناقيب، منيفة وحتى رأس الزّور في حالة طبيعيّة جيّدة. أمّا بالنّسبة لمنطقة الجبيل فلا تزال فيها مناطق ساحليّة محافظة على طبيعتها من التّوسع الصّناعي في المنطقة، وقد اقترح تحويل المنطقة الشاطئيّة المتاخمة لمدينة الجبيل الصناعيّة إلى محميّة تحوي الأعشاب البحريّة، والشّعاب المرجانيّة، وأشجار المانغروف، والمستنقعات،

لقد تغيّر ساحل الخليج العربيّ السّعودي نتيجةً لتأثير العامل البشري على سواحل المنطقة الشّرقية للمملكة خلال ٧٠ سنة الماضية، حيث ازدهرت المنطقة سكّانيّاً وصناعيّاً وتجاريّاً وزرعيّاً، إذ نما عدد السّكان من بضعة مئات الألاف عام ١٩٧٠ إلى نحو ٣ مليون حالياً. فعلى سبيل المثال نمت مدنٌ عديدةٌ على طول السّاحل كالدّمام، والخُبر، وخليج تاروت، والجبيل وغيرها.

تتميّز المنطقة المجاورة لخليج تاروت بوجود المياه الجوفيّة ضمن الطّبقات القريبة من سطح الأرض، والتي تظهر على شكل عددٍ من البرك المائيّة السّطحية والينابيع والبحيرات الصّغيرة (Basson et al., 1977)، ممّا أدّى إلى نمو النّشاط الزّراعيّ في المنطقة. وتشير التقديرات إلى أنّ ٤٨٥ هكتاراً من أشجار المانغروف قد فُقدت، وأنّ ٣٨١٠ هكتاراً

كسواحل مدينة الدمام، والخبر، ورأس الخثاق حتى شاطئ نصف القمر، وتعد هذه الأماكن من أكثر المناطق تعرضاً لأمواج المد والتسونامي ذات الارتفاع ٢م على الساحل السعودي الخليجي.

سوف تغرق المنطقة الواقعة ما بين رأس الخثاق جنوباً وحتى ١٥ كم شمالاً بالقرب من الطريق السريع عند مدخل الخبر وبعض يتراوح بين ٣-٩ كم، بأمواج المد والتسونامي وبخاصة البنى التحتية والعمرانية كالشراع، والصواري، والمها، والرجاء وغيرها من الأماكن العمرانية المنتشرة على طول هذه السواحل. تتميز هذه المنطقة بكونها سهلية، منبسطة، قليلة الارتفاع حيث لا يتجاوز ارتفاعها ٢م مع عدم وجود حواجز طبيعية تمنع توغل أمواج التسونامي إليها، لذا تعد من أكثر المناطق عرضة لخطر أمواج التسونامي أو أمواج المد بفعل التذبذبات المناخية على طول السواحل السعودية الخليجية.

إضافة إلى ذلك فإن المنطقة حول خليج شاطئ نصف القمر حتى ٢ كم من خط الشاطئ باتجاه الغرب سوف تغرق بأمواج المد والتسونامي، وكذلك بالنسبة للمنطقة الممتدة من خط الشاطئ الشمالي للخليج وحتى بضعة كيلومترات باتجاه الشمال حيث ستتوغل فيها أمواج المد والتسونامي، وذلك لتمييزها بقلّة الارتفاع، وبعدم وجود حواجز طبيعية تحميها من الأمواج، وهذا بحسب تصنيف (Ramasamy et al, 2004). أمّا بالنسبة لمدينة الدمام فسوف

وخاصة الجزيرة الشاطئية القريبة. ويُعتبر رأس أبو قميص على الساحل الجنوبي الخليجي السعودي ساحلاً بكرةً باقياً على حالته الطبيعية. وتُشير التّقدّيرات الحاليّة إلى أن ٩٠٪ من غابات المانغروف الأصليّة قد فُقدت على طول ساحل الخليج نتيجةً للتّمنية الحضريّة السّاحليّة.

توجد الشعاب المرجانية في العديد من المواقع على الخليج قبالة الشاطئ في المناطق المتاخمة لمسح المياه العميقة. وتعدّ الجزر المرجانية التي قبالة الشاطئ وشعابها المرجانية من أهمّ مواقع التنوع البيولوجي البحري في الخليج (Al-Abdulkader and Loughland, 2011).

4.5- المناطق الساحلية السعودية التي سوف تتأثر بأمواج المد والتسونامي:

حددت المناطق الساحلية التي ستتأثر بأمواج المد والتسونامي على طول سواحل المملكة العربية السعودية على الخليج العربي، من خلال الخرائط المورفولوجية باستخدام برنامج Surfer، وقد حددت المناطق التي سوف تُغمر بأمواج تصل إلى مترين فوق مستوى سطح البحر باللون البنفسجي، والسواحل التي سوف تُغمر بأمواج تصل إلى ٥م باللون الأحمر (شكل ٦).

أولاً: المناطق الساحلية المتأثرة بأمواج المد والتسونامي ٢م: تتميز هذه المناطق بقلّة ارتفاعها، وعدم وجود حواجز طبيعية تمنع وصول هذه الأمواج، وتظهر على الشكل رقم (٦) باللون البنفسجي،

تتأثر عشرات الأمتار من سواحلها الشرقية بأمواج المدّ والتسونامي ذات الارتفاع ٢م.

أمّا المنطقة الأخرى الأكثر تأثراً بأمواج المدّ والتسونامي ٢م فهي منطقة خليج تاروت ورأس تنورة، حيث ستتأثر البنى التحتيّة والعمرانيّة في المنطقة الممتدة من مدينة تاروت وعلى طول الشواطئ حول الخليج لمسافة ٣-٤ كم داخل اليابسة، وبخاصّة السهول الممتدة حول الخليج إذ أنّها قليلة الارتفاع.

أمّا بالنسبة للمنطقة الممتدة من رأس تنورة وحتى ١٦ كم داخل البر فسوف تغرق بأمواج المدّ والتسونامي، فهي مناطق ساحليّة، سهليّة، منبسطة، ضعيفة الارتفاع، يوجد فيها بعض المناطق العمرانيّة لذا تُعدّ مناطق مفتوحة لتدفّق أمواج المدّ والتسونامي

دون عوائق. يشكّل الشاطئ إلى الجنوب من خليج شاطئ نصف القمر منطقة مرتفعة حتى مدينة العقير، ومنها إلى الجنوب حتى أم حويض، وتوجد بينهما منطقة قليلة الارتفاع على طول الشاطئ إلاّ أنّها لا تشكّل أيّ أهميّة تُذكر. كما توجد منطقة منخفضة قليلة الأهميّة بالقرب من رأس أبو قميص. ستأثّر المنطقة إلى الشّمال من مدينة الجبيل بالقرب من رأس الزور بأمواج المدّ والتسونامي، وبخاصّةٍ حول دوحة المسلميّة التي يحيط بها سهل ساحلي رملي قليل الارتفاع وذلك لمسافة ١-٢ كم على أبعد تقدير، ولا تُشكّل هذه الأمواج أيّ خطرٍ لكونها خالية من البنى التّحنيّة والعمران حالياً.

شكل (٦). يوضّح تأثر سواحل المملكة العربيّة السّعودية على الخليج العربيّ بأمواج المدّ والتسونامي بارتفاع ٢ م والذي تمّ تمثيله باللّون البنفسجيّ وهم وتمّ تمثيله باللون الأحمر.

المنطقة السبخات وأهمها سبخة الدنان التي لا يزيد ارتفاعها عن ١م (شكل ٦). وإذا ما اندفعت أمواج التسونامي متوسطة الارتفاع نحو هذه المنطقة فإنها ستغرق بمياه الخليج، وتُعدُّ هذه المنطقة من العوامل المساعدة على تدفق أمواج التسونامي إذ أنها منطقة مستنقعات (سباح). كما يمكن للأمواج أن تتدفق بسهولة من الشمال عبر شاطئ نصف القمر ومن الجنوب عبر خليج العقير حيث تُشكِّل المنطقة الواقعة بينهما منطقة منخفضة عن مستوى سطح البحر أو أكثر بقليل. تنتشر بعض المناطق المرتفعة نوعاً ما بالقرب من شواطئ هذه المنطقة ويتراوح ارتفاعها بين ١٠-١٥م فوق مستوى سطح البحر، وبهذا ستكون بمنأى عن تهديد تلك الأمواج كما هو الحال في بعض المناطق الصناعية والعمرانية في القرية ورأس الزينة (شكل ٦).

تتميز المنطقة التي إلى الجنوب من المنطقة السابقة باتجاه منطقة سلوى، بكونها منطقة شاطئية مرتفعة تكثر فيها التلال الشاطئية التي تُعدُّ من العوامل المقاومة لتدفق أمواج التسونامي. إضافة إلى ذلك تُعد منطقة رأس أبو قميص المرتفعة نوعاً ما بمنأى عن تهديد أمواج التسونامي نظراً لوجود التلال الرملية الشاطئية التي تُعدُّ مصدات جيدة للأمواج التسونامي. أمّا بالنسبة لمدينة سلوى فقد شُيِّدت على منطقة قليلة الارتفاع، لذا ستهددها أمواج التسونامي متوسطة الارتفاع وستغرق بشكل كامل، وتنتشر إلى الجنوب

كما تُعدُّ المنطقة التي تقع بالقرب من رأس تناقيب، والسفانية، وطبق أم غربان منطقة شاطئية قليلة الارتفاع وذات امتداد ضيق، لذا لا تشكِّل أمواج المد والتسونامي خطراً عليها. أمّا باقي المناطق على طول الساحل السعودي الخليجي فهي بمنأى عن تهديد أمواج المد والتسونامي نظراً لارتفاعها.

ثانياً: المناطق الساحلية المتأثرة بأمواج المد والتسونامي ٥م: تتميز هذه المناطق بكونها مرتفعة قليلاً مقارنة مع المنطقة السابقة، وتتميز بعدم وجود حواجز طبيعية تمنع الأمواج متوسطة الارتفاع من اجتياحها، وهي تظهر في الشكل رقم (٦) باللون الأحمر.

تُعدُّ منطقة الجبيل - ذات الارتفاع ٥م - من أكثر المناطق المهددة بأمواج المد والتسونامي، وذلك على طول السواحل الخليجية للمملكة العربية السعودية. أمّا إذا ما اندفعت إليها أمواج التسونامي متوسطة الارتفاع فسوف تغرق مدينة الجبيل ما عدا بعض الأجزاء المرتفعة في الحي الشمالي الغربي، كما ستغرق مناطق واسعة محيطة بها، والتي تمتد من جنوب مدينة الجبيل وحتى المحاجر شمال غرب الجبيل بطول يصل إلى ٥٠كم وعرض يتراوح بين ١٠-١٥كم بما في ذلك مطار الجبيل.

المنطقة الأخرى الأكثر تهديداً بأمواج التسونامي ٥م تمتد من جنوب شاطئ نصف القمر، وحتى العقير بطول ٤٠كم وبعرض وسطي ٧كم. تكثر في هذه

الارتفاع في حال حدوثها إلى إغراق هذه المنطقة، ولا توجد مراكز عمرانيّة كبيرة أو بنى تحتيّة في هذه المنطقة ما عدا السّفانيّة ومنيفة. بينما تكثّر في هذه المنطقة الدّوحات، والرّؤوس، والأخوار، وتداخل اليابسة مع البحر، والتي تُعدّ عوامل مساعدة لتدفّق أمواج التسونامي.

تُعدّ المنطقة السّاحليّة الممتدة من السّفانيّة إلى الخفجي وحتى الحدود الكويتيّة منطقةً بمنأى عن تهديد أمواج التسونامي متوسطة الارتفاع وذلك لارتفاعها ولاحتوائها على التلال الرملية الشاطئية التي تمنع أمواج التسونامي من التوغل إلى اليابسة، ما عدا سبخة تقع إلى الجنوب من مدينة الخفجي تدعى سبخة المقطع لا يتجاوز ارتفاعها ٢م يمكن أن تتأثر بأمواج التسونامي.

6- نتائج:

- يمكن تقسيم السّواحل السّعودية على الخليج العربيّ حسب بنيتها التّضريسيّة وقدرتها على مقاومة أمواج المدّ والتسونامي إلى قسمين: **القسم الأول:** منطقة تتميز بضعفها وبنيتها السّهلية المنخفضة، تساعد على تدفق أمواج المدّ والتسونامي، تمتدّ هذه المنطقة حول مدينة الدّمام، والخبر، ورأس الخثاق، وخليج تاروت، وخليج شاطئ نصف القمر، وحول الجبيل. **أما القسم الثاني** فيتميّز بمناطق تحتوي على تلال رملية شاطئية مرتفعة نوعاً ما تشكّل عوامل مقاومة لتدفّق الأمواج، وتنتشر عند منطقة رأس أبو قميص والمنطقة بين العقير وسلوى، والمنطقة الواقعة

من المدينة العديد من السّبخات كسبخة المشاغيل التي تمتد بمحاذاة الحدود القطريّة وحتى جبل نباك جنوباً بطول ٤٠ كم وبعرضٍ وسطيّ ٦-٨ كم. تُشكّل هذه المنطقة السبخيّة المنخفضة والتي لا يتعدى ارتفاعها ٢م عن مستوى سطح البحر منطقة استيعاب لطاقة أمواج التسونامي القادمة إليها من منطقة سلوى، لذا تُعدّ من العوامل المساعدة لتدفّق أمواج التسونامي.

كما أنّ هنالك منطقة صغيرة شمال مدينة الدّمام من الممكن أن تغرق بأمواج التسونامي متوسطة الارتفاع وذلك لعدم وجود حواجز طبيعيّة معيقة لتدفّقها، وستتأثر الأحياء السّماليّة للمدينة بهذه الأمواج. إضافة لذلك فسوف تغرق بعض المناطق المنخفضة شرق المدينة الصّناعية الثّانية وغرب الظّهان بأمواج التسونامي متوسطة الارتفاع القادمة من خليج شاطئ نصف القمر.

أما بالنّسبة للمنطقة التي تمتد بمحاذاة الشّاطئ من الجعيمة إلى غزلان وحتى محطة تحلية المياه لمدينة الجبيل فهي منطقة حيويّة، تمتد على طول ٢٥ كم وعلى عرض وسطي حوالى ٧ كم، تتميز بوجود العديد من البنى التّحتيّة والعمرانيّة والصّناعيّة، ولا توجد فيها أي حواجز طبيعيّة تمنع تقدم أمواج التسونامي متوسطة الارتفاع في حال حدوثها نظراً لأنّها منطقة سهليّة ممتدة قليلة الارتفاع.

تمتدّ منطقة ضيقّة محاذيّة للسّاحل من منيفة إلى تناقيب وحتى السّفانيّة لا يتعدى عرضها ١ كم ضمن البرّ، ويمكن أن تؤدي أمواج التسونامي متوسطة

٧- مقترحات:

- يمكن الحد من الأضرار والخسائر في الأرواح والممتلكات من أمواج المدّ والتسونامي عن طريق القيام بزرع صفوف من أشجار التّخيل على طول المناطق الساحلية المنخفضة إذ تعمل على امتصاص بعض طاقة الموجة. كما أنّ لزراعة أشجار القرم والشّعاب المرجانية والشّعاب الاصطناعية تأثيرات إيجابية مماثلة، حيث تُعدّ عاملاً مساعداً في صدّ أمواج التسونامي وأمواج المدّ العالية أثناء التذبذبات المناخية غير الاعتيادية، وبالتالي تحمي الشواطئ من هذه المخاطر، كما تُعدّ واقية للسواحل من التآكل والانجراف بفعل المدّ والجزر والتيارات والعواصف، كما تمنع انجراف التربة، إضافةً إلى أنّها 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 العربي

- إلهامي، م.ع.، (٢٠١١). التغير المناخي استراتيجيات كيف التخطيط العمراني حالة دول مجلس التعاون الخليجي. تقنية البناء، العدد ٢٢، ١٥.

المراجع الانجليزي

- Al-Abdulkader, K. and Loughland, R. A. (2011). Conservation of natural coastal and marine resources, Env. Pro. Dep., Saudi Aramco.

إلى الشمال من مدينة الجبيل من رأس الزور وحتى الخفجي والحدود مع الكويت.

- تكثر في المناطق الضعيفة المقاومة للأمواج المدّ والتسونامي البنى التحتية والعمرانية والمنشآت الصناعية والبتروليّة ومحطّات تحلية المياه وغيرها، لذا تشكّل أمواج المدّ والتسونامي خطراً كبيراً عليها إذ ستؤدي إلى حوادث مأساوية للبنى التحتية والبشرية. في حين لا تتواجد مناطق عمرانية هامة على الشواطئ الأخرى المقاومة لتدقّ هذه الأمواج ما عدا الخفجي.
- تحوّل مناطق ومساحات كبيرة من مناطق محمية بحواجز شاطئية طبيعية - أشجار القرم - إلى مناطق عمرانية وصناعية مهددة بأمواج المدّ والتسونامي، كالشواطئ التي على طول خليج تاروت، حيث تمّ اجتثاث المئات من الهكتارات الغنية بتلك الأشجار وتحويلها إلى مناطق عمرانية وصناعية.
- تؤدي أمواج المدّ والتسونامي إلى تغيير طبيعة الشواطئ وتراجعها، وخسائر في الأرواح والممتلكات، وتهديد المنشآت والمجمّعات الصناعية، وغرق السواحل الذي يؤدي إلى زيادة ملوحة المياه الجوفية، وتدهور الأراضي الزراعيّة، واختلال التنوع البيولوجي وتأثر الحياة البحرية الساحلية وغيرها، ممّا قد يؤدي إلى عدم الاستقرار بالمنطقة على نطاق واسع.

- Ambraseys, N.N., Melville, C.P. (1982). A History of Persian Earthquakes. Cambridge University Press, Britain.
- Basson PW, Burchard IE, Hardy JT, Price ARG. (1977). Biotopes of the Western Arabian Gulf (pp 284). ARAMCO, Dhahran.
- Brunsdon, A.C.; Fotheringham, S.; Charlton, E.M. (1996). Geographically weighted

- regression: A method for exploring spatial nonstationarity. *Geogr. Anal.* 28, 283–297.
- 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.
- Chen, G.; Zhao, K.; Mcdermid, G.J.; Hay, G.J. (2012). The influence of sampling density on geographically weighted regression: A case study using forest canopy height and optical data. *Int. J. Remote Sens.* 33, 2909–2924
- El-Sabh MI, Murty TS. (1989). Storm surges in the Arabian Gulf. *Nat Hazard* 1:371–385.
- Fotheringham, A.S.; Charlton, M.E.; Brunsdon, C. (1998). Geographically weighted regression: A natural evolution of the expansion method for spatial data analysis. *Environ. Plann.* 30, 1905–1927. 16.
- Fournier M, Lepvrier C, Razin P, Jolivet L. (2006). Late Cretaceous to Paleogene post-obduction extension and subsequent Neogene compression in the Oman Mountains. *GeoArabia* 11:17–39
- Gulfnews, (2005). Rough seas lash UAE coast. 11 January 2005.
- Heidarzadeh, M., Pirooz, M. D., Zaker, N. H., Yalciner, A. C., Mokhtari, M., Esmaily, 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, (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp
- Khan, M. A. and Kumar, A. (2009). Impact of “urban development” on mangrove forests along the west coast of the Arabian Gulf. *Journal Earth Science India* Vol.2, 159- 173
- Kumar, A. (2013). *Natural Hazards of the Arabian Peninsula: Their Causes and Possible Remediation*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 155-180.
- Lu, B.; Harris, P.; Charlton, M.; Brunsdon, C. (2014) The GWmodel R package: Further topics for exploring spatial heterogeneity using geographically weighted models. *Geo-Spat. Inf. Sci.* 17, 85–101.
- Marfai, M. A., Almohammad, H., Dey, S., Susanto, B., & King, L. (2007). Coastal dynamic and shoreline mapping: multi-sources spatial data analysis in Semarang Indonesia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 142(1-3), 297–308.
- 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 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.
- Ramasamy, S. M., Kumanan, C. J., Saravanavel, J., and Selvakumar, R. (2006). Geosystem responses to December 26, 2004 tsunami and mitigation strategies for Cuddalore-Nagapattinam Coast, Tamil Nadu. *Journal of the Geological Society of India*, 68(6), 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
- Salaree, A., Mansouri, R., & Okal, E. A. (2018). The intriguing tsunami of 19 March 2017 at Bandar Dayyer, Iran: field survey and simulations. *Natural Hazards*, 90(3), 1277–1307.
- 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.
- Su, H.; Liu, H.; Lei, W.; Philipi, M.; Heyman, W.; Beck, A. (2013) Geographically adaptive inversion model for improving bathymetric retrieval from multispectral satellite imagery. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 52, 465–476.
- Tinti, S., & Armigliato, A. (2003). The use of scenarios to evaluate the tsunami impact in southern Italy. *Marine Geology*, 199(3–4), 221–243.
- Vinayaraj, P.; Raghavan, V.; Masumoto, S. (2016) Satellite derived bathymetry using adaptive-geographically weighted regression model. *Mar. Geod.* 39, 458–478.
- Vincent, P., (2008). Saudi Arabia: An Environmental Overview, Taylor & Francis Group, London, UK, 332.
- Yrigoyen, C.C.; Rodrigou, I.G.; Otera, J.V. (2008) Modeling spatial variations in household disposable income with geographically weighted regression. *Estad. Esp.* 50, 321–360. 19.

Effect of Tsunamis and Climate Oscillations on the Coastal Topography in the Arabian Gulf of Saudi Arabia

Associate Professor Badreddin Manla Al Dakhil *

Associate Professor Hussein Ahmed Almohamad**

* University of Aleppo in the liberated areas, Faculty of Arts and Humanities, Department of Geography, Azaz, Syria.

**Department of Geography, College of Arabic Language and Social Studies, Qassim University, 51452 Buriadah, Saudi Arabia

Abstract. the Arab Gulf region is one of most vulnerable regions to the negative impacts of climatic fluctuations and tsunamis in the urban, environmental, and economic fields. The effect of the beachy terrain on the waves varies according to their different shapes. This research aims to identify the areas which are affected by the tsunamis and climatic fluctuations in case they occur along the Kingdom's coasts on the Arabian Gulf in accordance with several scenarios, in addition to the classification of the coastal response to those effects. The Ramasamy et al (2008) classification has been used to study the response of Saudi coastal geomorphological systems to the Arabian Gulf as well as the identification of water inundation areas based on GEBCO's gridded bathymetric data to know the depths of seas and oceans, satellite images, topographic maps and historical earthquake data. The results of the study revealed panicles, bays, meanders along the coasts and saline marshes which are considered helping factors for tidal waves and tsunamis to flow. While the mangroves and the sandy beach hills which are spread on a small scale reduce the flow of tidal waves and tsunamis along the coast of Ras Abu Kmis, the coasts extending between Salwa and Aqeer and the coasts which lie to the north of the city of Jubail from Ras Al-Zour to North Khafji at the Kuwaiti border. As for the residential, industrial and petroleum areas as well as the water desalination plants and infrastructure are characterized by weak plain coasts that lack natural features, resisting the flow of tidal waves and tsunamis, such as Dammam, Jubail, Al Khobar, Tarut and Half Moon Bays. The research also shows that there is a possibility of submerging approximately 4% of the coastal area as the result of flowing tsunamis with 2 meters high, and about 11% of the coastal area in case 5-metre high waves flow which can penetrate up to 15 km within flat coastal land in some coastal areas like Jubail and Dammam. This could lead to catastrophic accidents on the infrastructure and residential areas in the event of high tidal waves or medium-height tsunamis flow which can lead to widespread instability in the region.

Keywords: Coastal terrain, tidal waves, tsunami, Arabian Gulf, Saudi Arabia