أثر التغيرات المناخية في ساحل مدينة المكلا محافظة حضرموت باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد

د. أمين عبد القادر حسين هشلة
أستاذ الخرائط ونظم المعلومات الجغرافية المساعد
قسم العلوم الاجتماعية، كلية التربية – المكلا، جامعة حضرموت
hashlehamen@gmail.com

الملخص

يعد تغير المناخ حالياً أحد أهم التحديات الطبيعية التي تواجه العالم. فقد أسهمت عوامل عدة في حدوث تغيرات مناخية نتج عنها ذوبان كميات هائلة من الجليد؛ وبالتالي ارتفاع متوسط منسوب سطح البحر، وهو ما يقلق الدول الساحلية في الوقت الحالي. ومن هذا المنطلق، اختار الباحث مدينة المكلا كدراسة حالة لأثر التغيرات المناخية على مورفولوجيا ساحلها، الذي يمتد حوالي (63) كم على بحر خليج عدن. وهدفت هذه الورقة إلى استخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد لوضع تصور مستقبلي لشكل ساحل مدينة المكلا في حالة زيادة منسوب سطح البحر من متر واحد وحتى خمسة أمتار، ومعرفة الأحياء المعرضة للغمر بمياه البحر والفيضانات. وتبين من خلال التحليل المكاني لبيانات الارتفاعات الرقمية (DEM) أن ساحل مدينة المكلا عرف تغيراً خلال الفترة 1973-مايو2019 بلغ (47) %، كما سيعرف خط الساحل تغيراً ملحوظاً في حالة زيادة ارتفاع البحر من متر واحدٍ وحتى خمسة أمتار، ويتفاوت هذا التغير حسب طبيعة البنية الجيولوجية والتضاريس للساحل، وستتعرض أماكن للغمر بمياه البحر، تركزت أكثرها في مناطق التقاء مياه البحر بمياه الأودية في كلٍ من أحياء الريان، وبويش، وخور المكلا، وفوَّه.

معلومات البحث
تاريخ الاستلام:
2023.03.19
تاريخ القبول:
2023.05.21

الكلمات المفتاحية
التغير المناخي، الساحل، نظم المعلومات الجغرافية، الاستشعار عن بعد

1. المقدمة

يعد الاهتمام بالمناطق الساحلية في السنوات الأخيرة هدفًا رئيسًا لصنَّاع القرار في المستوى العالمي؛ بسبب تركز الأنشطة الاقتصادية والسياحية المختلفة بالسواحل، فقد لوحظ أن غالب سكان العالم يستقر بالقرب من السواحل حاليًا. وتجدر الإشارة إلى أنه حسب المنظمة العالمية للتغيرات المناخية (IPCC)* فإن ثلثي سكان العالم تعيش بالقرب من السواحل على مسافة لا تتعدى (200) كم. وفي هذا السياق، فإن قدرة السكان على النمو والتطور تصطدم بمشاكل كبيرة، منها مشاكل التعرية، والفيضانات، وتغيرات الساحل، وخاصة في السنوات الأخيرة؛ لارتباطها بالتغيرات التي تطرأ على منسوب سطح البحر.[1]

[1] يوسف شريف، علي البلوشي (2014): مؤثرات التغير المناخي على مورفولوجيا الساحل العماني، المجلة الجغرافية العربية، العدد 64 الجزء الثاني ص424

©2023 SHABWAH UNIVERSITY JOURNAL

إن المناطق الساحلية وما تشكله من تداخل بين العوامل الطبيعية والبشرية في حد سواء تتباين تأثيراتها من منطقة لأخرى، وتعدُّ وسطًا غير مستقر بيئيًا؛ بسبب عوامل التعرية الريحية والمائية المختلفة، وتراجع الشواطئ، وارتفاع مستوى سطح البحر، وتزايد الضغط على الموارد الطبيعية. وتشير الوكالة الأوروبية للبيئة بأن 12% [2] من القارة يقل منسوبها عن كنتور (5) أمتار، خاصة مناطق الدلتا والسهول الساحلية، وبالتالي فإنَّ سواحلها مهددة بارتفاع منسوب سطح البحر، وكذلك في شمال أفريقيا كما في ساحل دلتا مصر، وكذلك سواحل سلطنة عمان المطلة على البحر العربي، وخاصة في مناطق المراوح الفيضية، والأخوار، والموانئ البحرية.[3]

وقد بدأ المجتمع الدولي ينتبه إلى ظاهرة تغير المناخ، وكان أول طرح للظاهرة خلال مؤتمر البيئة، الذي عقد بمدينة استكهولم سنة 1972م، مما لفت الانتباه إلى تلك الظاهرة بوصفها ظاهرة دولية عابرة للحدود نتيجة لتأثيراتها المختلفة، ولقد تم تشكيل بعض مجموعات العمل التي تبلورت لاحقًا، منها:

الهيئة الحكومية الدولية المعنية بالتغيرات المناخية (IPCC) التي أنشأتها منظمة الأرصاد الجوية العالمية سنة 1988م، World Meteorological Organization (WMO)؛ إذ صاغت تلك اللجنة الاتفاقية الإطارية لتغير المناخ (UNFCCC) 1990م، ولقد تم التوقيع عليها من عدد من دول العالم في ريودي جانيرو بالبرازيل 1992م، إلى جانب ما تقوم به الأمم المتحدة وبرنامجها المعني بالمناخ من جهود كبيرة، تبلورت في عقد اتفاقيات دولية ومؤتمرات سنوية بشأن تغير المناخ، وبمشاركة نحو (200) دولة، كان آخرها (COP27) الذي عقد في شهر نوفمبر 2022م بشرم الشيخ بجمهورية مصر العربية، وتهدف تلك الجهود المستمرة من المجتمع الدولي والباحثين إلى الحد من حدوث تغير للمناخ، وما يعقبه من اختلال في النظام الحيوي للكرة الأرضية بوجه عام، وزيادة معدلات درجة الحرارة على وجه الخصوص. ولقد زاد معدل درجة الحرارة العالمي مقدار (1.2) درجة، مما ساعد على ذوبان الجليد من القطبين، وارتفاع منسوب سطح البحار والمحيطات، وتعد تلك الزيادة تهديدًا مباشرًا للدول الساحلية، والجزر، والدلتاوات بالعالم.[4]

تتميز اليمن بسواحلها الممتدة على كل من البحر الأحمر وخليج عدن والبحر العربي، والتي تبلغ حوالي 2000 كم، كما أن غالب سكان اليمن يتركزون بالسكن حول السهول الفيضية والساحلية، وتحظى تلك المناطق بعدد وافر من المشروعات الاقتصادية المهمة كالموانئ، والمنشآت السياحية والعمرانية.

وتتميز مدينة المكلا بسواحلها الممتدة لأكثر من 63 كم على خليج عدن، وتتخللها عدد من الأودية، مكوِّنة في مناطق التقائها بالبحر مراوح فيضية وسهولاً ساحلية رملية، كما أن ساحل مدينة المكلا يتنوع ما بين السهل الساحلي الرملي والصخري، مما جعله مهيَّأً طبيعيًا لرسو السفن، وقد نشأ ميناء المكلا منذ أمد بعيد، هذا التنوع في مورفولوجيا ساحل المكلا جعل منها معرضة لغمر سواحلها بمياه البحر وفيضان الاودية اثناء مواسم الامطار، كما شوهد في الأعصاير المدارية، التي تعرضت لها المدينة في السنوات الأخيرة.

---

[2] European Environment Agency, (2005): Vulnerability and Adaptation to Climate Change in Europe. EEA Technical Report No.,7/2005

[3] يوسف شريف، علي البلوشي (2014): مصدر سابق.

[4] عبد الفتاح البنا (2009) :مواجهة آثار التغيرات المناخية المرتقبة على المدن التراثية الساحلية في مصر، مؤتمر " التغيرات المناخية وأثارها في مصر" ، شركاء التنمية القاهرة، 2-3 نوفمبر 2009.

* Intergovernmental Panel on Climate Change المنظمة العالمية للتغيرات المناخية

1.1. مشكلة الدراسة

تشير بعض التقارير العلمية والدراسات السابقة إلى أنه خلال القرن العشرين سوف يرتفع منسوب سطح البحر إلى ما بين 10–25 سم[5]، وتتوقع التقارير الصادرة من الهيئة الدولية المعنية بالتغيرات المناخية (IPCC)أن يزيد منسوب سطح البحر بمعدل يتراوح بين 26–59 سم بحلول عام2100، في حين توجد دراسات تتوقع ارتفاع منسوب سطح البحر إلى ما بين 38–100 سم بحلول عام2100، وفي دراسة أخرى عن فيتنام، توقع فيها الباحث زيادة منسوب سطح البحر إلى ما بين 50–140 سم[6].

من العرض السابق لواقع التغيرات المناخية، وتأثيرها في الساحل، وارتفاع مستوى منسوب البحر، ونظرًا لعدم وجود دراسة – حسب علمي – ناقشت تأثير هذه التغيرات المناخية في خط الساحل بالجمهورية اليمنية، وعلى وجه الخصوص ساحل مدينة المكلا، فإن تساؤل البحث ينطلق من هذه الحقائق، فيطرح السؤال الآتي:

ماهي التأثيرات المحتملة لارتفاع منسوب البحر على ساحل مدينة المكلا؟ ومن هذا التساؤل تتفرع عدد من التساؤلات الفرعية: تتمثل في:

- ما هو الوضع الحالي لخط الساحل؟
- ماهي النقاط التي سيتراجع عندها الساحل سلبًا وإيجابًا؟
- ما هو سيناريو المناطق المعرضة للغرق بمياه البحر في حالة ارتفاع منسوب البحر حتى 5 أمتار؟

لذا فإن هذه الدراسة تتطرق إلى التغيرات المستقبلية التي قد تطرأ على خط الساحل؛ حتى يتم الاستعداد الجيد للتعامل معها. وعليه فمن الضروري لكي تكتمل الحلقة أن يوضع تصور مستقبلي لما يمكن أن يطرأ على ساحل المدينة من تغيير نتيجة للتغيرات المناخية، وارتفاع منسوب سطح البحر المتوقع.

لذا فإن هذه الدراسة تسعى لوضع تصور لشكل ساحل مدينة المكلا في حالة زيادة منسوب سطح البحر عن الوضع الحالي بـ مقدار5 أمتار، ممثلة في خمسة مستويات، كل منها يمثل مترًا واحدًا، في حين أجريت بعض السناريوهات في بعض الدول ارتبط بعضها بارتفاع منسوب سطح البحر ستة أمتار، والآخر عشرة أمتار كما في دراسة مورفولوجيا ساحل سلطنة عمان، ووصل أحيانًا إلى 61 مترًا لمدينة سان فرانسيسكو؛ وذلك في حالة ذوبان جليد القارة القطبية الجنوبية.

2.1. هدف الدراسة

تهدف الدراسة لوضع تصور لتغيرات المورفولوجيا لساحل مدينة المكلا في حالة ارتفاع منسوب سطح البحر مستقبلًا نتيجة التغيرات المناخية.

3.1. أهمية الدراسة

تكمن أهمية الدراسة في بيان أثر التغيرات المناخية في اتجاهات التغير في ساحل مدينة المكلا ومالها من آثار في الجوانب البيئية والاقتصادية والاجتماعية، والتعرف على ماهية هذا التغير، والبحث في إمكانية الحد من الآثار المترتبة عليها.

[5] Mangor, K., (2004): Shoreline Management Guidelines, DHI Water & Environment, Hersholm, Denmark.
[6] Nguyen, Pham Khoi, (2009): Climate change and Sea level rise scenarios, Ministry of Natural Resources and Environment, Hanoi, Vietnam.

4.1. منهج وطريقة الدراسة

يعتمد العمل في هذا البحث على استخدام تقنيات نظام المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في وضع تصور لما سوف يطرأ على ساحل مدينة المكلا من تغيير في حالة ارتفاع منسوب سطح البحر. وسوف نستخدم المرئيات الفضائية الرادارية دقة 30م لسنة 2011م، وتسمى بنماذج الارتفاعات الرقمية Digital (DEM) Elevation Model لدراسة طبيعة ساحل مدينة المكلا من خلال أسلوب التحليل المكاني Spatial analysis للتعرف على درجات انحدار الساحل باستخدام خاصية الانحدار slope داخل خصائص السطح، ولتحقيق ذلك سوف يتم استخراج خمسة خطوط كنتور بفاصل متر واحد فقط لمعرفة حدود تلك الخطوط ومواقعها، وما سينتج عنها من تغيير على طول الساحل. وساحل مدينة المكلا يتأثر كغيره من السواحل بصورة مباشرة ببعض العوامل الطبيعية، سنتناولها ببعض التفصيل حسب أهمية كل عامل ودرجة تأثيره.

إلى جانب ذلك فإن البحث يستدعي إلقاء الضوء على بعض العوامل الطبيعية المؤثرة في تآكل السواحل وتراجعها، مع وضع اعتبار خاص لتحديد أهمية كل عامل ومستوى تأثيره؛ بهدف تحليل النتائج المتوقعة وتعليلها. وتسير منهجية الدراسة وفق ما يأتي:

- اختيار نماذج ممثلة من ساحل مدينة المكلا؛ نظرًا لامتداده لأكثر من 63 كم، مع التركيز على المناطق الأكثر تأثرًا بارتفاع منسوب سطح البحر، ومنها: مناطق التقاء الأودية بالبحر في كلٍ من الريَّان، وخلف، والشرج، وفوَّه.
- رصد التغير في ساحل مدينة المكلا للفترة 1973 – مايو 2019م.
- عمل تصور للتغيرات الجيومرفولوجية لساحل مدينة المكلا في حالة ارتفاع منسوب سطح البحر حتى خمسة أمتار.
- معرفة التنبؤات المستقبلية عن حالة التغيرات المناخية لساحل مدينة المكلا.

5.1. هيكلة الدراسة

- العوامل الجغرافية المؤثرة في ساحل مدينة المكلا.
- المعالجة الرقمية لنموذج الارتفاعات.
- تحليل نتائج الدراسة
- التوصيات

أولا :العوامل الجغرافية المؤثرة في ساحل مدينة المكلا

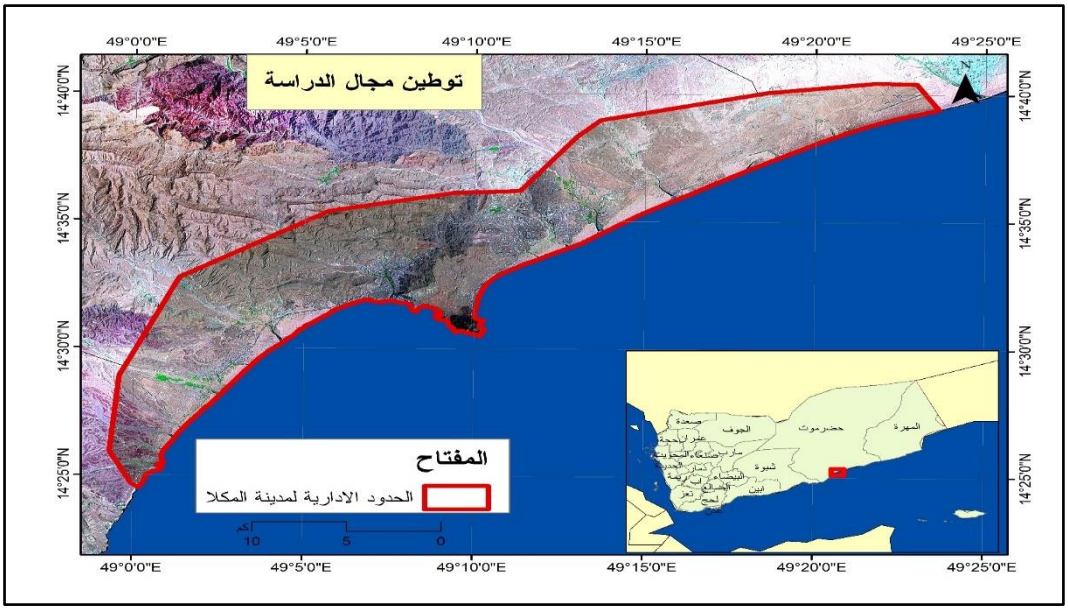
1. **الموقع الجغرافي لمدينة المكلا**

تقع مدينة المكلا في الجزء الشرقي للجمهورية اليمنية، على ساحل خليج عدن، وفلكيًا بين خطَّي طول (48.988545 –49.39387222)، ودائرة عرض (14.40835903 – 14.674223) على بعد حوالي (790) كيلو متر من العاصمة صنعاء.

وتحيط بمدينة المكلا مجموعة من الجبال، تمتد في شكل شريطي محاذيًا لساحل البحر[7]، وقد كان لهذا الموقع ولا يزال أثره البالغ المتميز، الذي يعد من أفضل المرافئ القديمة والحديثة للموانئ في المنطقة؛ نتيجة لموقعها على خليج المكلا، المحاط بالجبال المحمية من الرياح الموسمية ذات الخصائص المناخية، الموثرة سلبًا وإيجابًا على نمط استخدامات الأراضي للمدينة. كما تمثل المدينة من خلال هذا الموقع الاستراتيجي، النافذة التي تطل منها محافظة حضرموت على العالم الخارجي[8].

وتتمتع المدينة بموقع إقليمي على ساحل شاطئ البحر العربي بالنسبة لمحافظة حضرموت، وبين بقية المراكز الحضرية في إطار شبكة المستوطنات الحضرية، ويحد مدينة المكلا من الشرق مدينة شحير، ومن الجنوب الغربي منطقة بروم، ومن الشمال عدد من القرى لمديرية أرياف المكلا، ومن الجنوب خليج عدن9.

شكل رقم (1) الموقع الجغرافي لمدينة المكلا بالنسبة لمحافظة حضرموت واليمن



المصدر: من انجاز الباحث بالاعتماد على برنامجي arcgis10.5، erdas imagin14

تقع منطقة الدراسة تكتونيًا على الصفيحة التكتونية العربية، وعلى الحافة الشرقية للدرع العربي، ويعد ساحل حضرموت جزءًا من البنية التكتونية لليمن، التي هي جزء من شبه الجزيرة العربية، وبالتالي فإن هذا الساحل مر بالتطورات الجيولوجية التي مرت بها الأراضي اليمنية، فساحل حضرموت يدخل ضمن التركيبات الجيولوجية للصفيحة التكتونية العربية، والتي تضم الدرع العربي والرف العربي، لذلك فإن التطور التكتوني لخليج عدن الأثر

[7] . الجمهورية اليمنية، رئاسة مجلس الوزراء، محافظة حضرموت: إنجازات حاضرة لتنمية مستدامة 2008 . 2003 –2008 ص 132.

[8] المحمدي، عمر (2012): مدينة المكلا واقليمها الوظيفي (دراسة في الجغرافية الحضرية)، أطروحة دكتوراه، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة عدن ص 35

[9] المحمدي، عمر(2012): المصدر نفسه.

الكبير في نهوض هذه المنطقة وتطورها في عصر الميوسين؛ إذ إن انفتاح خليج عدن، وارتطام الصفيحة العربية بالإيرانية يكاد يكون متزامنًا[10].

ويمكن القول إن ساحل حضرموت قيد الدراسة يدخل ضمن التركيبات الجيولوجية للدرع العربي الجنوبي فمنذُ نهاية العصر الكريتاسي حتى عصر الميوسين، وحدوث الانكساريات والفوالق في هذا الفترة وتكوُّن خليج عدن والبحر الأحمر انفصلت حضرموت عن كتلة الأركية الأفريقية[11]. ونتيجة لمجموعة الحركات الأرضية المتعاقبة كان الرف العربي يرتفع ثم يهبط، وكانت مياه البحر تغمر أراضي ذلك الرف عند الهبوط، تم تعود فتنحصر عنه عند الارتفاع، ومن ذلك كانت الطبقات الرسوبية الرقيقة تتوالى متعاقبة ابتداء من العصر الأردوفيشي في الزمن الأول حتى الزمن الرابع[12].

1.2. التركيب الصخري للساحل

تعد البنية الجيولوجية والتركيب الصخري للساحل من أهم الأسس التي ترتكز عليها دراسة أشكال سطح الأرض الحالية (جيومرفولوجية الساحل) وتشكيلها، وهي تنتمي لمجموعة من العمليات الباطنية المكونة للتضاريس، بالإضافة إلى العمليات الخارجية، مثل التعرية المائية والهوائية، التي تقوم بدور كبير في تشكيل التضاريس الصغرى للساحل، مثل الدلتاوات، والتلال الرملية، والسهول الحصوية، والجروف، وغيرها من المظاهر الجيومرفولوجية[13]. ففي منطقة الدراسة يمكن تمييز مناطق صخرية عدَّة، يعد ظهورها من نتائج الحركات التكتونية عبر الأزمنة الجيولوجية، أو من نتائج عمليات الترسيب بواسطة عوامل التعرية المختلفة ومن هذه الصخور:

1.1.2. صخور القاعدة الاركية

وتوجد في منطقة خلف القديمة بالمكلا، وهي عبارة عن صخور اندفاعية إلى بركانيات قدمية، وتتخللها بعض الصخور المتداخلة من قواطع وسدود (قاعدية ومتوسطة). كما توجد صخور القاعدة في منطقة غرب بروم والجبال الممتدة من ميفع حتى الغبر[14].

2.1.2. صخور الزمن الثاني

وتوجد صخور العصر الطباشيري (الكريتاسي) في منطقة ساحل حضرموت حيث توجد صخور مجموعة الطويلة، وهي صخور رملية في غرب مدينة المكلا وشرقها، وفي كل من بروم، ورأس الحمراء، وحصيحصة،

[10] المحمدي، عمر (2012): مصدر سابق ص 36.

[11] المحمدي، عمر (2012): مرجع سابق ص 37.

[12] المحمدي، عمر (2012): المصدر نفسه

[13] بارشيد، محمد عوض2005: جيومرفولوجية ساحل حضرموت رسالة ماجستير الآداب في الجغرافيا، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة النيلين، جمهورية السودان. ص 40

[14] بارشيد، محمد عوض2005: المصدر نفسه

ويتخلل هذه المجموعة أحزمة من الصخور الجيرية، وتضم هذه المجموعة تكوين قشن – الحرشيات – المكلا– شروين[15].

3.1.2. صخور الزمن الثالث

وهي صخور عصر الباليوسين، وتوجد في منطقة شمال بروم وغربها، في نطاق ضيق، وتتمثل في تكوين أم الرضومة، وهي صخور جيرية عقدية كتلية، تتخللها بعض الطبقات من الصخور الجيرية الصفحية، وكذا الدولومايت وخاصة في جزئها السفلي[16].

- **صخور عصر الأيوسين الأوسط**

توجد في شكل قوس على امتداد الساحل في منطقة شرق مدينة الحامي إلى رأس شرمة، وتمثل تكوين حبشية، والتي تتكون من ترسبات متتابعة من أطيان صفحية وصخور جيرية عضوية مع أحزمة من بعض الصخور الجبسية[17].

- **عصر الأوليجو – ميوسين**

وتوجد شمال ساحل خليج المكلا، وشمال منطقة الريان، كما تطل على الساحل مباشرة في مناطق متفرقة من غرب بروم، وتضم مجموعة الشحر، وتتكون من صخور صفحية – طينية كونجلوميرات – حجر جيري عضوي[18].

- **العصر الثلاثي المتأخر– خلال حقب الحياة الحديثة**

وتنتشر صخور هذا العصر وتكويناته بشكل واسع على طول الساحل الشرقي لحضرموت، وهي عبارة عن حقول وانسياب اللافا البركانية، وتمتد من منطقة قصيعر حتى قرب مصب وادي المسيلة في شكل حقول لاقيه (مسيلات بركانية) متقطعة، تفصل بينها أودية وسواحل رملية، وتنتمي مكونات هذا العصر إلى سلسلة بركانيات عدن[19].

---

[15] Geological Map of Eastern Aden Protectorate compiled by Z.R. Beydoun

[16] بارشيد، محمد عوض2005: مصدر سابق

[17] بارشيد، محمد عوض2005: المصدر نفسه

[18] بارشيد، محمد عوض2005: المصدر نفسه

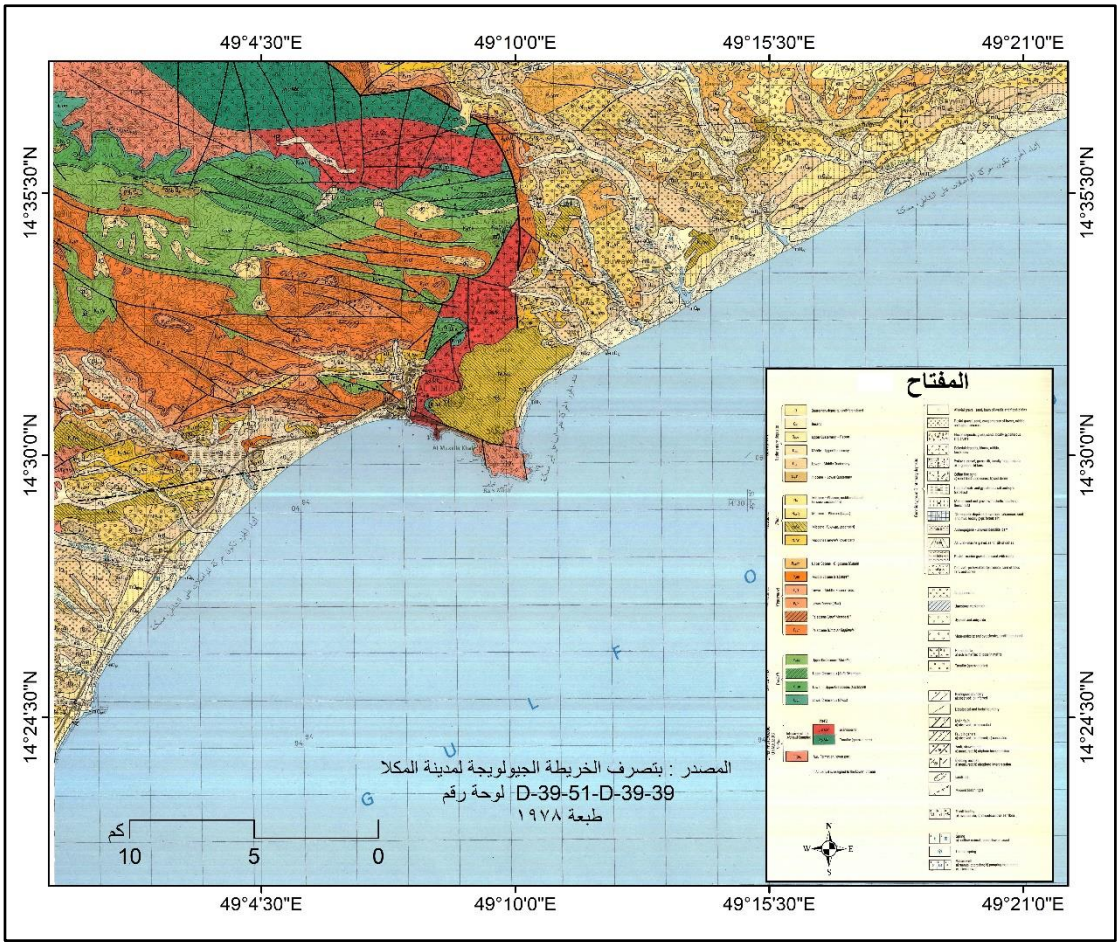
[19] بارشيد، محمد عوض2005: المصدر نفسه

4.1.2. الزمن الرابع

عصر البليوسين – الحديث (الهولوسين)

وتغطي صخور هذا العصر وتكويناته غالبية ساحل حضرموت، وهي عبارة عن شواطئ مرتفعة – مصاطب نهرية – ترسبات حيوانية دقيقة (تربة اللويس) – جلاميد – رمل – كثبان رملية[20]، وتمتد من شرق مدينة المكلا حتى وادي المسيلة شرقًا، كما تتخلل المنطقة الممتدة إلى الغرب من المكلا في ساحل خليج المكلا وخليج بروم وبعض الخلجان الصغيرة غرب بروم[21].

شكل رقم (2): جيولوجية مدينة المكلا



3. مظاهر السطح

يقع سطح مدينة المكلا ضمن نطاق السهل الساحلي لمحافظة حضرموت، المتمثل بالشريط الساحلي، الذي يقع ويمتد عليه موضع المدينة من بروم غربًا إلى الريان شرقًا، وبطول أكثر من (63) كيلو متر. تتبين تكوينات

[20] Geological Map of Eastern Aden Protectorate compiled by Z.R. Beydoun scale

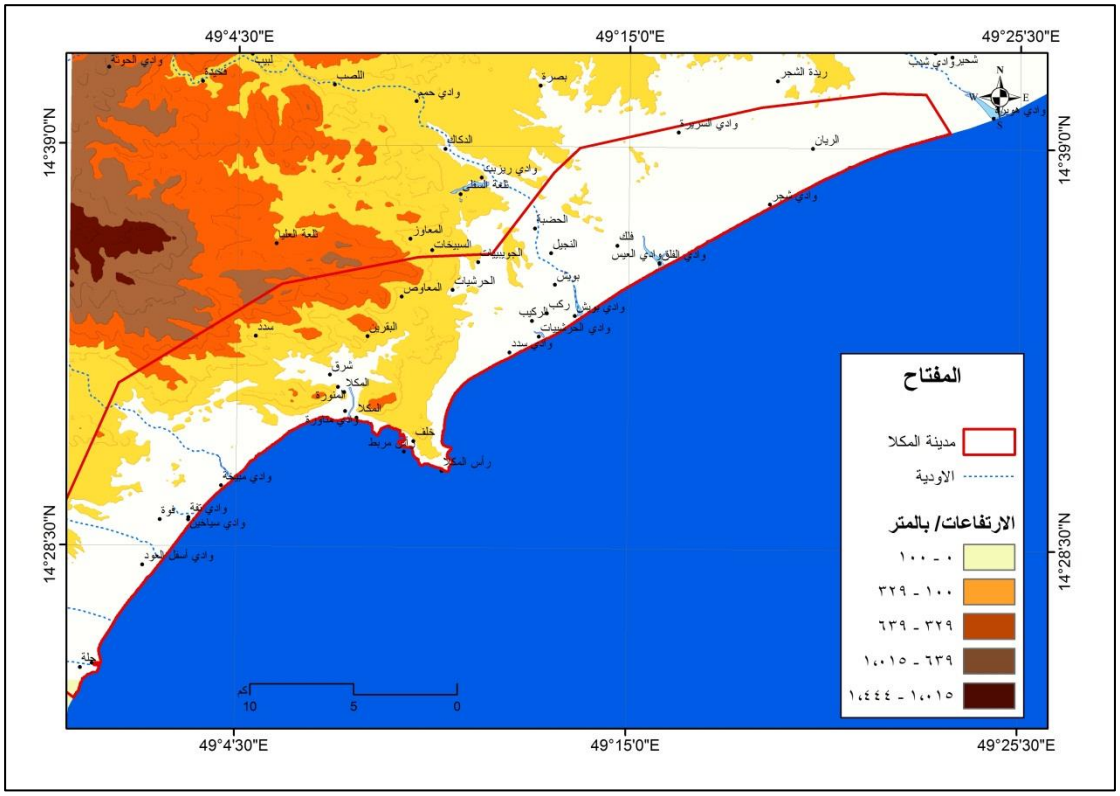
[21] بارشيد، محمد عوض2005: مصدر سابق

هذا السهل الساحلي على امتداد المدينة نحو اليابس من حيث الانخفاض والارتفاع والضيق والاتساع للشواطئ الرملية، التي تتخللها مصبات الأودية الساحلية[22].

ونجد أن السهل الساحلي الغربي لمدينة المكلا الذي يمتد نحو جهة بروم بحوالي 34 كم يتميز بأنه يمثل سهلًا فسيحًا، عرضه بين (4–15) كم، تنتشر فيه الكثبان الرملية الشاطئية نحو أقدام دالات الأودية الساحلية المنحدرة من المرتفعات الجبلية[23].

ويضيق هذا السهل كلما اتجهنا نحو المنطقة الوسطى، حتى ينتهي بين البحر والجبل، ويمثل جروفًا من حجر الكلس (الجير) أمام المدينة القديمة ومنطقة خلف القديمة والجديدة. أما السهل الساحلي الشرقي فيبدأ في الاتساع تدريجيًا كلما اتجهنا نحو الريان، وبعرض يتسع في اليابس بين (5–20) كم[24].

شكل رقم (3) الارتفاعات الرقمية ومظاهر السطح لمدينة المكلا



المصدر: من إنجاز الباحث بالاعتماد على برنامجي erdas imagin14, arcgis10.5

ومن جهة الشمال من هذا النطاق الساحلي يقع نطاق السلاسل الجبلية الانتقالية، التي تمتد حتى خطوط الكنتور لتقسيم المياه عند ارتفاع 2000 متر تقريبًا فوق سطح البحر، حيث تفصل بين الوديان المتجهة نحو البحر وتلك المتجهة شمالًا إلى وادي حضرموت، ويمتاز هذا النطاق بتضاريسه وشدة انحداره[25].

[22] المحمدي، عمر (2012): مصدر سابق
[23] المحمدي، عمر(2012): المصدر نفسه
[24] المحمدي، عمر(2012): مصدر سابق
[25] المحمدي، عمر (2012): المصدر نفسه

4. المناخ

يتميز مناخ ساحل مدينة المكلا بمناخ شبه استوائي، حار صيفًا ومعتدل شتاء؛ إذ تتراوح درجة الحرارة صيفًا بين (27–39)° مئوية، وشتاءً بين (19–26)° مئوية، وتتراوح كمية هطول الأمطار بين (49–80) ملم على الشريط الساحلي، و(150) ملم على ارتفاع (200) متر فوق سطح البحر، وتسقط عادةً خلال موسم الربيع (مارس – مايو)، والخريف (يوليو – سبتمبر)، وهي أمطار غير منتظمة، كما يمتاز هذا الساحل بارتفاع الرطوبة النسبية بين (70–85) %، أما التبخر السنوي فيصل (2569) ملليمتر /العام[26].

تتأثر سرعة الرياح واتجاهها بدرجة الحرارة مما يؤثر بشكل مباشر على المنخفضات الجوية بالمنطقة، حيث إن تأثير هده المنخفضات على جذب الرياح من المسطحات المائية القريبة، والتي تكون في العادة مشبعة ببخار الماء، مما يؤدي إلى رفع معدلات الرطوبة النسبية المقترنة بدرجات الحرارة العالية وبخاصة في الأجزاء الساحلية، كما يؤدي تصاعدها على السفوح الجبلية إلى تكون السحب الركامية، مُحدِثةً بذلك حركة رأسية في تيارات الهواء وسقوط الأمطار التضاريسية على القمم الجبلية، المصحوبة عادة بالبرق والرعد والرياح الشديدة، وتكون هذه الأمطار في العادة بقعية ومؤقتة ومختصة بسلسلة الجبال. مما يؤدي إلى جريان الأودية التي تؤثر مباشرة على مورفولوجيا خط الساحل.

فالرياح السائدة على طول ساحل مدينة المكلا هي رياح جنوبية شرقية غالب شهور السنة؛ إذ تبلغ نسبة تكرارها (83.3%) من مجموع الاتجاهات العامة للرياح في اليمن، في حين تسود الرياح الجنوبية والجنوبية الغربية خلال فصل الصيف فقط، هذا ما سجل في محطة الريان الواقعة في منطقة الدراسة؛ إذ بلغ المعدل السنوي لسرعة الرياح فيها (2.5م /ث)، ونتيجة لهبوب الرياح الموسمية الصيفية الشديدة من مايو– سبتمبر تصل سرعة الرياح (20–30م /ث)، وارتفاع الموج إلى20م[27]. ويعزى اشتداد سرعة الرياح عند الساحل إلى التباين الضغطي الكبير بين اليابس والماء المجاور.

5. شكل خط الساحل

يعد شكل خط الساحل ومدى تعرجه وتوجيهه بالنسبة للأمواج السائدة من أهم العوامل التي تؤثر في مورفولوجيا السواحل؛ إذ تشتد تعرية رؤوس السواحل المتوغلة في البحر، في حين يزداد الترسيب داخل الخلجان، والأخوار، وخلف تلك الرؤوس[28].

تتوقف طبيعة شكل خط الساحل بمدينة المكلا على أمور عدة، منها ما يختص بطبيعة الصخور المكونة له، وتوجيه الساحل بالنسبة للأمواج السائدة، وكذلك التفاوت في ارتفاع الجروف البحرية. فصخور الساحل قيد الدراسة تتميز بتنوعها، فمنها الصخور النارية التي تنتشر في مناطق قليلة من الساحل، مثل منطقة المكلا، أما أكثر

[26] يوسف، عبد الحكيم محمد (2000): بعض الظواهر الجوية المؤثرة في تشكيل مناخ اليمن، بغداد، اطروحة دكتوراه غير منشورة.

[27] صبيح، عمر عوض (1995): بعض الخصائص الطبيعية وتأثيراتها على البيئة البحرية، بحث مقدم إلى مركز أبحاث علوم البحار والموارد البحرية، عدن.

[28] Azaz, L, (2012): Using GIS and remote sensing to map coastline changes of Wedam_ Alsahel area, Batinah, Oman between 1998 and 2008, the 33rd Asian Conference on Remote Sensing, Thailand.

الصخور انتشارًا في الساحل فهي الصخور الجيرية (Lime stone)، والحجر الرملي، والصخور الجبسية الهشة التي تنتشر في مناطق محدودة [29].

كذلك تركيب الصخور له دور مهم في تشكيل المظاهر الجيومورفولوجية لخط الساحل، خصوصًا إذا كانت طبقات الصخر عبارة عن طبقات متعاقبة لينة ثم صلبة فإن تكسر الأمواج يعمل على تآكل الصخور اللينة. أما أثر العامل الكيميائي فيكون تأثيرًا واضحًا في الصخور الجيرية وغيرها من الصخور التي تقبل الإذابة والكربنة؛ إذ يؤدي ذلك إلى خلق أشكال خاصة ومميزة. وتنتشر الصخور الجيرية في مناطق متعددة من الساحل، خصوصًا المناطق الساحلية الواقعة غرب المكلا، لذا نلاحظ وجود المسلات البحرية في المنطقة الواقعة غرب بروم، وانتشار الجروف والكهوف بشكل واسع في السواحل الواقعة غرب المكلا وإن كانت في بعض المناطق من هذا الساحل تختفي هذه المظاهر، وتحل محلها الخلجات الصغيرة بسبب بعد المناطق الجبلية عن ساحل البحر [30].

إنَّ ميلان الساحل يتنوع في منطقة الدراسة، فيكون في اتجاه البحر في بعض المناطق، أما في أجزاء من منطقة (خلف) بالقرب من المكلا فميلان الساحل باتجاه اليابس مما يقلل من عملية تآكل الصخر، وبالتالي تبقى الجروف فترة طويلة دون أن تتراجع نحو اليابس، ويكون تأثير الأمواج فيها ضعيفًا [31].

6. درجات انحدار المناطق الساحلية

لدرجات انحدار المناطق الساحلية دور كبير في مدى تأثر تلك السواحل بحركة الأمواج ودرجة ذلك التأثر؛ إذ نجد أن أقل المناطق تأثرًا هي مناطق الجروف التي تزيد فيها درجات الانحدار على 45 درجة، ويزيد هذا التأثير تدريجيًا بقلة درجات الانحدار، حيث تمثل تلك المناطق النسبة الغالبة لساحل مدينة المكلا، كما في منطقة الريان وخلف وفوه، وفي مناطق الأخوار ومصبات الأودية على طول خط الساحل.

ويتضح من مرئية تحليل الانحدار (Slope) في الشكل رقم (3) ما يأتي:

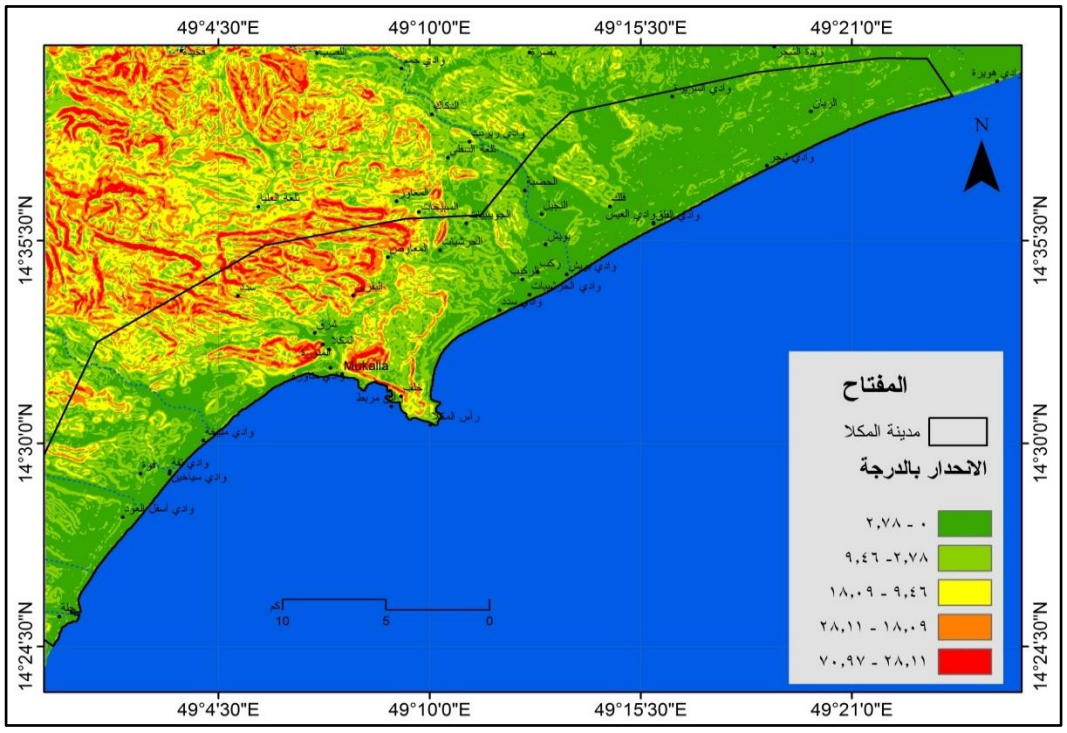
- أنَّ أكثر مناطق ساحل مدينة المكلا انحدارًا هو ساحل بويش وروكب وفلك، التي تتخللها مصبات الأودية، مثل وادي بويش والحرشيات، كذلك مناطق خلف والشرج وفوه، التي تتخللها أودية، مثل وادي الغليلة، الذي يصب بخور المكلا، ووادي امبيخه ووادي فوة وحلة؛ إذ تتراوح درجة الانحدار فيها بين 0–7,91 درجة.
- تأتي ساحل منطقة الريان المرتبة الثانية من حيث درجات الانحدار؛ إذ يسود غالبها درجات انحدار الجروف، وتتراوح درجة الانحدار بين 7,91 –25,44 درجة.

[29] بارشيد، محمد عوض2005: مصدر سابق

[30] بارشيد، محمد عوض2005: المصدر نفسه

[31] بارشيد، محمد عوض2005: مصدر سابق

شكل رقم (4) تصنيف درجة الانحدار بساحل مدينة المكلا



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM (30 متر)

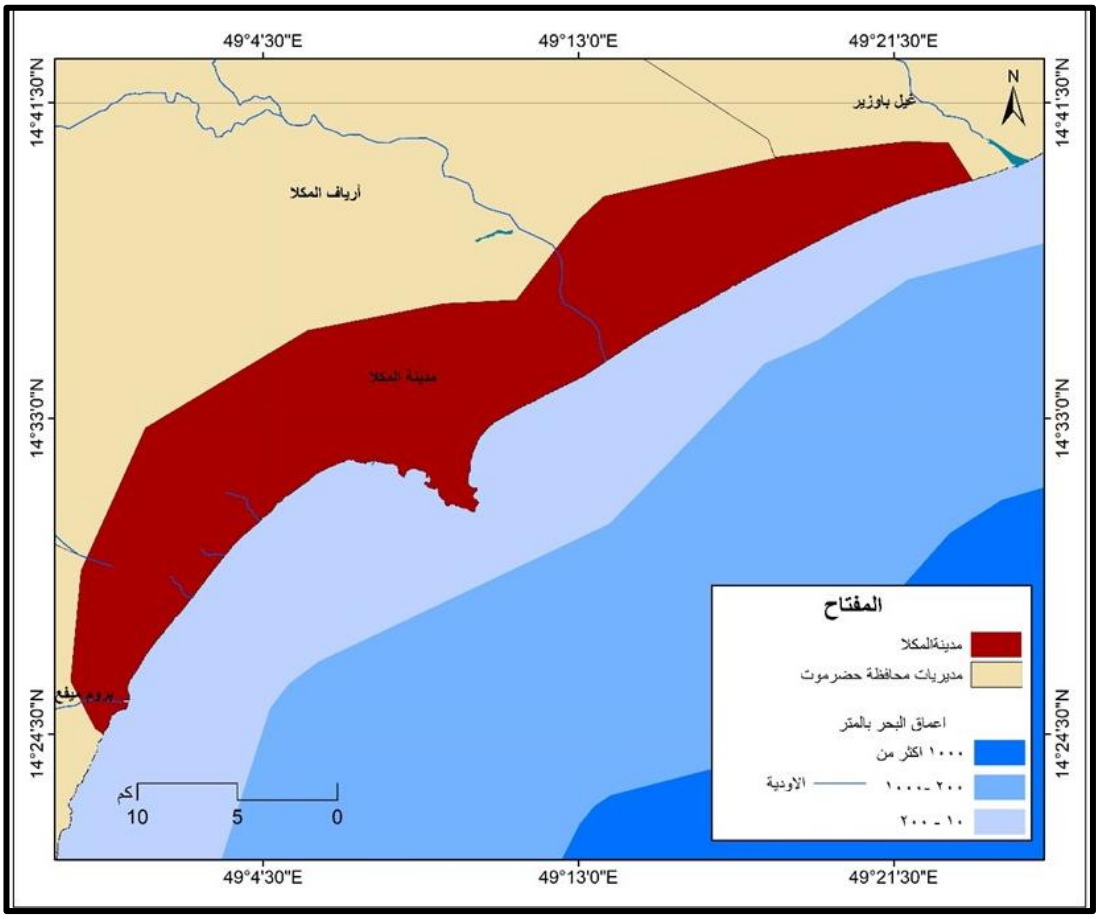
7. الغطاء النباتي

يتباين الغطاء النباتي للمنطقة الساحلية من حيث نوعه (شجيرات، حشائش) ومدى كثافته؛ إذ يساعد الغطاء النباتي الكثيف على حماية السواحل بدرجة ما من تأثير الأمواج، ومن الملاحظ أن ساحل مدينة المكلا في غالبه رمال تغطيها بعض الشجيرات، مثل السيسبان، الذي يغطي أماكن واسعة، وخاصة في بطون الأودية التي تصب في البحر، كما يوجد جزء من ساحل المكلا يتميز بطبيعته الصخرية، كما في كورنيش ومنتجعات المحضار في خلف.

8 .عمق المياه

يؤثر عمق المياه أمام السواحل بصورة مباشرة على قوة الأمواج؛ إذ تعمل المياه الضحلة على تكسير الأمواج، وإضعاف طاقتها قبل وصولها إلى الشاطئ، في حين تساعد المياه العميقة على وصول الأمواج بكامل طاقتها مما يعظم تأثيرها التحاتي، وبطبيعة الحال يعد ساحل مدينة المكلا من السواحل العميقة، باستثناء مناطق مصبات الأودية (الاخوار).

شكل رقم (5) يبين أعماق البحر بساحل مدينة المكلا



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM (30 متر)

9. تأثير الأمواج

تعد الأمواج من أهم عوامل التعرية البحرية، ويرتبط تأثير هذه الأمواج بعاملين آخرين، هما؛ الرياح، وتضاريس الساحل نفسه، ولأمواج العواصف أهمية خاصة؛ إذ إن تأثيرها في تشكيل السواحل في يوم واحد يعادل تأثير الأمواج العادية في أسابيع عدَّة، ولهذا فإنها تعرف بأمواج الهدم.

يتمثل العمل التحاتي للأمواج في أنماط عدة، الأول هو الفعل الهيدروليكي، وهو عملية اصطدام كتل المياه بالصخور وتحطيمها؛ إذ ينضغط الهوى الموجود في الشقوق والشروخ والفواصل التي في واجهة الجرف بشدة فتتجه لدفع المياه، وحينما ترتد الموجة يتمدد الهواء في الشقوق فجأه فيؤدي إلى انفجار عنيف[32]، وهكذا تستمر حركة الأمواج فيتحطم الصخر ويتآكل الجرف. أما النمط الثاني للعمل التحاتي للأمواج فهو النحت، ويتوقف نحت الجرف على طريقة تكسر الأمواج وأحجامها، ويخضع ذلك لطول الفترة الزمنية التي تتحرك فيها الأمواج وما تحملها الأمواج من كتل الحطام الصخري، حيث تصطدم بأسفل الجرف. أما النمط الثالث فهو الاحتكاك حيث تتصادم مكونات

[32] جودة، جودة حسنين (1996): قواعد الجيومورفولوجيا العامة، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.

الحطام الصخري ببعضها كما تصطدم بالجرف[33]، ويدخل في ذلك عملية الكشط، أي القطع والطحن تحت التأثير المزدوج بقطع الصخور[34]، وهذا ما يلاحظ في أجزاء مختلفة من الساحل، ووجود أحجار حصى مستديرة الشكل، خصوصًا بالقرب من السواحل الرملية المفتوحة، حيث تنشط الأمواج كما هو الحال في ساحل غرب المكلا.

والنمط الرابع لتأثير الأمواج في نحت السواحل هو الإذابة، خاصة تأثير هذه العملية على الصخور الجيرية التي تقبل الإذابة والمنتشرة على الساحل، حيث يتم ذلك عن طريق التفاوت اليومي في ما تحويه المياه الشاطئية من ثاني أكسيد الكربون، فلأن مقدرة المياه على إذابة ثاني أكسيد الكربون تزداد بتناقص الحرارة؛ لإن برودة مياه البحر أثناء الليل تؤدي إلى زيادة حمضية المياه، لذلك تزيد من قدرتها على إذابة الصخور الجيرية [35]، أو بسبب نشاط الكائنات البحرية النباتية أثناء التمثيل الضوئي مما يؤدي إلى الاختلاف اليومي لما تحويه المياه من ثاني أكسيد الكربون.

10. تأثير حركة المد والجزر

تعد ظاهرة المد والجزر عن انخفاض مياه البحر وارتفاعها، وتتم في فترات زمنية محدودة، وترتبط هذه الظاهرة بالشمس والقمر، يحدث المد والجزر مرة كل نصف يومًا، ويبلغ المعدل اليومي للمد على الساحل (1.1) مترًا، وتعمل تيارات المد والجزر على إبراز تأثير تحاتي قوي؛ حيث تتوغل مياه المد في الخلجان الضحلة والضيقة الموجودة على الساحل، وتلاطم الصخور، وتمارس فعلها كعامل نحت أو نقل للمفتتات الصخرية وإرسابها في المناطق الساحلية، خصوصًا وأن ساحل حضرموت يشهد نشاطًا بشريًا كبيرًا من خلال عمليات ردم السواحل، وتكوين الأرصفة الساحلية الحديثة، وما يتطلب ذلك من إلقاء للمواد الطينية والحصى والحصباء، والتي تقوم بنقل جزء منه تيارات المد وخاصة المد العالي، أو ما يسمى بالمد الربيعي (Springtide)، والذي يحدث مرتين كل شهر حينما يكون القمر محاقًا وبدرًا، وتنقل هذه المفتتات والحصباء إلى مناطق أخرى من الساحل وترسب فيها[36].

11. فعل التيارات البحرية

وهي عبارة عن كتلة متصلة من المياه، تتحرك حركة مستمرة، وتعد الرياح هي العامل الأول المسؤول عن تكوينها، وحيث إن المنطقة قيد الدراسة واقعة على البحر العربي فإن الرياح الموسمية الجنوبية الغربية والشمالية الشرقية التي تهب على هذه المنطقة هي التي تتحكم في اتجاه حركة التيارات البحرية بشكل رئيس، لذلك نجد سيادة التيارات البحرية دائمًا ما تتطابق مع اتجاه الرياح الموسمية، ففي فصل الصيف حيث الرياح الموسمية الجنوبية الغربية يكون الاتجاه العام للتيارات البحرية شرقيًا، ويحدث بالقرب من الساحل تيار دوراني (باتجاه عقارب الساعة)، أما عند هبوب الرياح الموسمية الشمالية الشرقية في فصل الشتاء فيكون اتجاه حركة التيارات البحرية غربيًا، ولكن

[33] محمد، سعد جاسم وياسين عواد الدليمي (2002): أساسيات علم الجيومورفولوجية، الدار العلمية الدولية، الطبعة الأولى – عمان.

[34] لوتجنز، تاربوك – ترجمة عمر سليمان حمودة وآخرون 1984): (، الأرض – مقدمة للجيولوجيا الطبيعية

[35] يوسف، عبد الحكيم محمد (2000): مصدر سابق

[36] يوسف شريف، علي البلوشي (2014): مصدر سابق

حركة التيارات الساحلية تنعكس كحركة دورانية باتجاه عقارب الساعة، ويتجاوز معدل سرعة هذه التيارات عقدة واحدة[37]، ولأن حركة هذه التيارات بطيئة لذا فإنها لا تقوم إلا بنصيب ضئيل ومحدود في تشكيل المناطق الساحلية؛ إذ إنها تزيل نتاج تعرية الأمواج، وتكتشف أسفل الجروف، وتقوم بنقل المواد الناعمة من منطقة ساحلية إلى أخرى، ويتبع هذا العامل عامل آخر هو ما يسمى (الجرف الشاطئ والتيارات الشاطئية)، حيث إن المياه في طريق عودتها إلى البحر تأخذ اتجاهًا مستقيمًا مع الانحدار، ويعمل هذا على نقل الرسوبيات باتجاه متعرج على طول الساحل، ويسمى هذا بالجرف الشاطئ، الذي ينتج عنه حبيبات الرمل والحصباء، كما تعمل الموجات المائلة على أحداث تيارات بنطاق الأمواج المنكسرة موازيًا للشاطئ، وتقوم هذه التيارات بنقل حبيبات الرمل الدقيقة ودحرجة الحبيبات الكبيرة[38]. لذلك تتكون الرسوبيات الرملية على طول الشاطئ، والكثير منها ليس مشتقًا من تعرية الأمواج، بل أتت بفعل الأودية التي تصب في البحر، ولولا عمل الجرف وتيارات الشاطئ لندر رؤية الرمال على الشاطئ.

ثانيًا: معالجة بيانات نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM)

لقد استخدمت في السنوات الأخيرة نماذج الارتفاعات الرقمية (DEM) باختلاف مصادرها، سواء كانت صورًا رادارية أو مشتقة من مرئيات أخرى في الدراسات الجيومورفولوجية؛ إذ تستخدم في اشتقاق خطوط الكنتور، وشبكات الأودية، وفي دراسة التضاريس المحلية ودرجات الانحدار، وغيرها من الاستخدامات.

وفي هده الدراسة تم استخدام نموذج الارتفاع الرقمي 30 مترًا (DEM 30) لسنة 2011 في عمل التحليل المكاني للمنطقة الساحلية بمدينة المكلا، وأمكن الحصول من خلال ذلك على درجات الانحدار؛ لما لها من علاقة قوية بالسواحل من حيث تقدم الساحل أو تراجعه، كما استخدم أيضًا التحليل المكاني في عمل قائمة لخطوط الكنتور من1–5 أمتار لرصد التغيرات التي من الممكن أن تطرأ على ساحل مدينة المكلا مستقبلًا.

وقد أجريت بعض الخطوات الضرورية على المرئية الفضائية لتجهزها لإجراء التحليل المكاني من خلالها وهي كالآتي:

- عمل التصحيح الهندسي لمجموعة من المرئيات الفضائية الرادارية.
- ضبط الإسقاط الذي يتوافق مع الإسقاط المستخدم بالخرائط والمرئيات الفضائية المستخدمة.
- عمل موزاييك يضم كل مناطق مدينة المكلا.
- عمل تصحيح لبعض البيانات المفقودة بنموذج الارتفاعات.
- استخدم الباحث مؤشر فرق المياه (NDWI)[39]*، ويستخدم هذا المؤشر لتحديد المناطق المائية، ورصد التغيرات في محتوى المياه السطحية، وبالتالي تحديد مناطق الجفاف، والتغيرات في مستوى المياه، والفيضانات من خلال صور المرئيات الفضائية، وتحديد الفارق ما بين المياه واليابس، وتحديد خط الساحل لمدينة المكلا.
- تم تقسيم سواحل مدينة المكلا إلى قطاعات عدة، تتوافق مع درجات الانحدار، وطبوغرافية السطح، وموقعها الجغرافي إلى عدد من القطاعات؛ حتى يتم أخذ نماذج ممثلة لتلك القطاعات لرصد تغيراتها، قد اعتمد في

[37] يوسف، عبد الحكيم محمد (2000): مرجع سابق

[38] لوتجنز، تاربوك – ترجمة عمر سليمان حمودة وآخرون 1984): مرجع سابق

* Normalized Difference Water Index مؤشر فرق الماء الطبيعي

الاختيار على أكثر المناطق تأثرًا في الوقت الحالي، والتي من المتوقع تأثرها مستقبلًا خلال تحليل نماذج الارتفاعات الرقمية؛ إذ تم تقسيم ساحل المدينة الى أربعة قطاعات، وهي من الشرق الى الغرب، تشمل مناطق الريان، روكب وخلف، المكلا والشرج، فوه بن سيناء والشافعي وحلة.

- **ثالثًا: تحليل نتائج الدراسة**

1: رصد التغير في ساحل مدينة المكلا للفترة 1973 –مايو 2019

تم تحويل جميع نتائج تحليل صور الأقمار الصناعية، إلى بيانات رقمية، يسهل التعامل معها في دراسة التغير وحساب مساحة التجريف والردم البحري، على المنطقة الساحلية؛ من أجل رصد التغير في خط الساحل من عام **1973– مايو2019**م والتي بلغت نسبة التغير 47% خلال (46) سنة الماضية، كما هو موضح في الجدول رقم (1) والشكل رقم (6).

صورة رقم (1) اعمال ردم خط الساحل مستمرة

المصدر http://www.almukallanow.com -

وبشكل عام؛ فإن أعمال التجريف والردم البحري للواجهات البحرية على خط الساحل لمدينة المكلا وما ينتج عنها من أضرار بيئية نتيجة انتشار الغبار، والعوالق الترابية ضمن عمود المياه، وما يصاحب ذلك من قتل للنباتات البحرية، وتدمير للشعاب المرجانية، التي تعد حاضنة وبيئة خاصة، وموطنًا للكثير من الأحياء البحرية، إضافة إلى كون أعمال التصريف المباشرة موجهة إلى البحر، الأمر الذي يؤثر في بيئات كثيرة من الكائنات البحرية الحي، وبالتالي؛ فإن الإضرار ببيئات كثيرة من أنواع الأسماك، عن طريق أعمال الردم والتجريف، وتدمير الشعاب المرجانية، وتصريف الملوثات في البحر، لها الدور البالغ في التأثير على مستوى تكاثر بعض الأسماك، وبالتالي نفاد المخزون السمكي، وافتقار المنطقة للتوازن البيئي البحري[40].

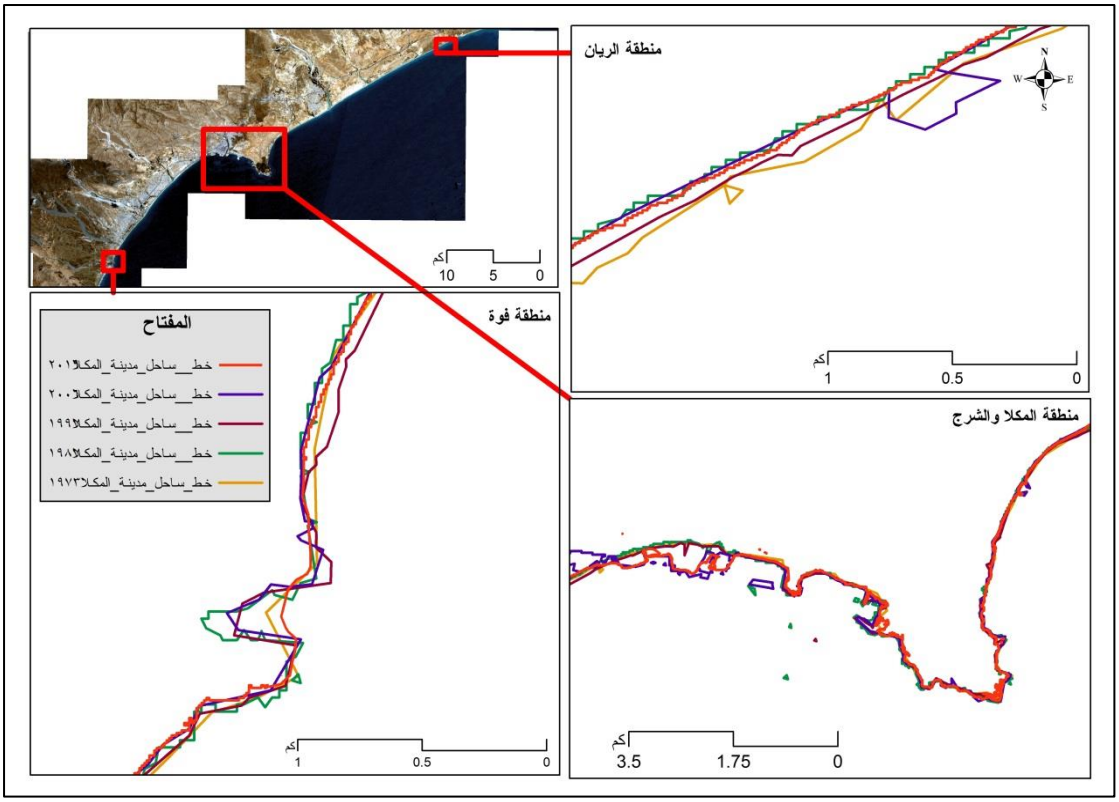
جدول رقم (1): التغير في خط ساحل مدينة المكلا للفترة 1973–2019

التغير في خط الساحل للفترة 1973–2019						الإجمالي لنسبة التغير (%)
العام	1973	1987	1997	2006	2019	
نسبة التغير%	67	88	70	80	99	47

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على تحليل الصور الفضائية بواسطة برامج GIS

[40] هشلة، امين (2019): التدهور البيئي لساحل مدينة المكلا وتحديات التنمية المستدامة مقاربة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية؛ والاستشعار عن بعد، المؤتمر العلمي الرابع 24–25 يوليو2019 لجامعة حضرموت، المكلا.

شكل رقم(6): تغيرات خط الساحل بمدينة المكلا 1973- مايو2019



المصدر: من إنجاز الباحث بالاعتماد على برنامجي arcgis10.5، erdas imagin14

2. مدى تأثر ساحل مدينة المكلا وتغيره بارتفاع منسوب سطح البحر

اتضح من واقع التحليل المكاني للمرئيات الرادارية لساحل مدينة المكلا الموضحة بالشكل (7)، وكذلك الجدول رقم (2)، تفاوت تأثر الساحل لمدينة المكلا وتغيره بارتفاع منسوب سطح البحر. وتم التركيز على دراسة مناطق التغيير في تلك القطاعات، وهي المراوح الفيضية، والدلتاوات للأودية، والتي تمثل أكثر المناطق تراجعًا باتجاه الداخل، وتتسع مداخل خلجانها والأخوار بها.

جدول رقم (2) مؤشرات التراجع بالمتر في بعض المناطق من ساحل مدينة المكلا، في حالة ارتفاع منسوب سطح البحر من (1-5) م

ارتفاع منسوب البحر بالمتر	مناطق/أحياء			
	الريان	روكب وخلف	المكلا والشرج	فوه بن سيناء الشافعي
1	3352	2421	1135	3207
2	4442	3715	1848	4637
3	4612	3998	1540	4929
4	4726	4160	1646	4358
5	4614	4174	1235	3619

المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على برنامج arc gis10.5

وبعد فحص الخرائط المشتقة لتلك المناطق المختارة، تم استخراج معدلات التراجع بها حسب ارتفاع منسوب سطح البحر المتوقع بمناسيب تتراوح من (1–5) أمتار، والممثلة في الجدول رقم (2) نستنتج الآتي:

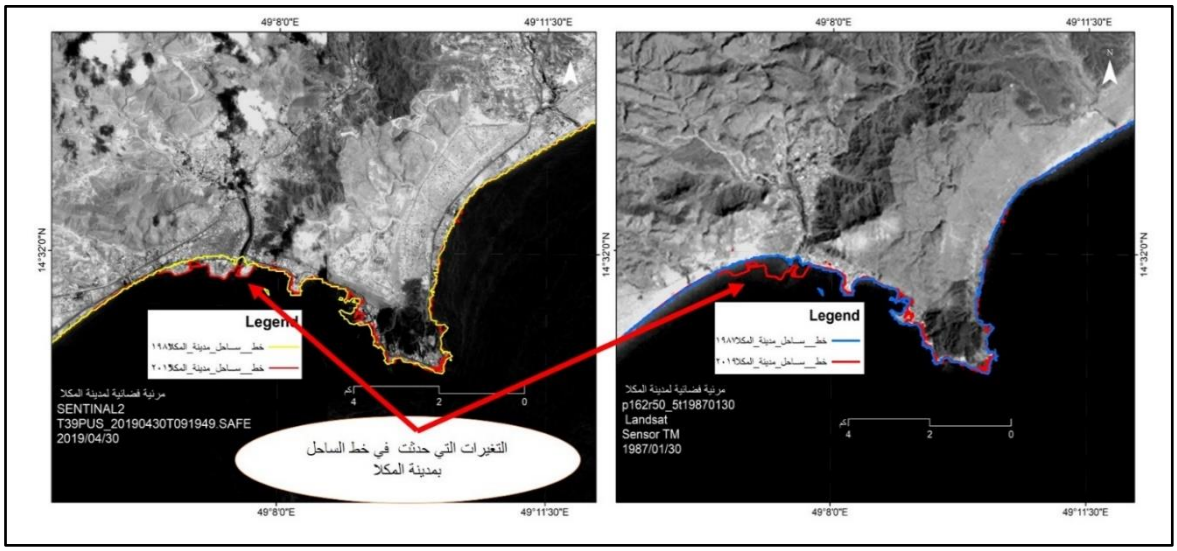
1. **ساحل منطقة الريان**

تبدأ حدود هذا القطاع من وادي حويرة في الدلتا عند المطار إلى دلتا وادي بويش، والذي يتميز هذا القطاع من ساحل مدينة المكلا بأنه مستوٍ، ويبلغ طوله (22) كم، وأقصى ارتفاع يصل بـ(72) مترًا، ويتمثل في الهضبة الشمالية لمطار الريان، التي تبدأ في الانخفاض تدريجيًا كلما اتجهنا نحو الجنوب باتجاه البحر، يتخلل هذا القطاع بعض الأودية، أهمها وادي ريدة، الشجر، وادي فلك، ويتميز هذا القطاع بشاطئه الرملي الهش، المكوَّن من الرواسب الرباعية، هذا أدى إلى تراجع الساحل بمقدار 3352 مترًا في حالة ارتفاع منسوب البحر مترًا واحدًا، ويزداد التراجع ليبلغ ذروته عند ارتفاع المنسوب 4 أمتار ليصل 4726 مترًا، وعند ارتفاع المنسوب 5 أمتار يبدأ خط الساحل يتجه للانخفاض، هذا التراجع نتيجة لاختلاف التركيب الصخري، والذي يبدأ في التصلب كلما اتجهنا شمالًا ليصطدم بالمرتفعات الشمالية من هضبة حضرموت.

2. **ساحل منطقة بويش روكب وخلف**

أما في هذه المنطقة أو القطاع الذي يضم وادي بويش، وادي القاقين، ووادي الحرشيات، فيتصف هذا القطاع من ساحل مدينة المكلا بأنه أكثر صلابة، ويتميز بشاطئه الصخري وضيق المساحة المستوية التي تعلوها المرتفعات كلما اتجهنا شمالًا وغربًا، وقد بلغ تراجع خط الساحل عند منسوب مترٍ واحد 2421 مترًا، ويزداد التراجع ليبلغ ذروته عند منسوب ارتفاع 5 أمتار ليصل 4174 مترًا.

شكل رقم (7): صورة فضائية تبين التغيرات التي حصلت في خط الساحل 1987–2019



3. **ساحل منطقة المكلا والشرج**

يتميز هذا القطاع من ساحل مدينة المكلا بأنه المساحة الفاصلة بين مستوى البحر وأقدام سفوح الجبال القصيرة جدًا، ويتراوح الارتفاع بين (0–390) مترًا تقريبًا، وهذا القطاع الأكثر استغلالًا للأنشطة الاقتصادية المهمة؛ حيث يوجد الميناء والأرصفة البحرية الخاصة بالاصطياد البحري، وقد شهد في الآونة الأخيرة أعمال ردم وتوسعة تزامنًا مع إعادة تأهيل خور المكلا البحري عام 2005م، وقد أنشئت مراكز تجارية، مثل: الهايبر مول، وغيرها، واصطلح

تسمية هذه التوسعة بكبس العمودي، الذي يتصل مع الخور وهو امتداد لوادي الغليلة، والذي تم إعادة تأهيله؛ ليكون معلمًا سياحيًا وترفيها لمدنية المكلا، وساحة لعرض الأنشطة الترفيهية والثقافية والاجتماعية، وإحياء الموروث الثقافي للمدنية. هذا الجزء من الساحل عبارة عن شريط ضيق، وهو أقل القطاعات تغيرًا، عند منسوب 1–5 أمتار، مقارنة بالقطاعات الأخرى السالفة الذكر، فقد بلغ تراجع خط الساحل عند منسوب متر واحدٍ 1135 مترًا، ليصل 1848 عند منسوب 2 مترَيْنِ، ومن ثم وقف التراجع وبدأ بالانخفاض ليصل 1235 مترًا عند منسوب 5 أمتار، هذا التراجع العكسي نتيجة ضيق المساحة الأفقية لخط الساحل واصطدامه بالسلسلة الجبلية لجبال مدينة المكلا القديمة والشرج المكلا والشرج المكوِّنة للساحل الصخري في هذا المقطع من الساحل.

4. ساحل منطقة فوة (امبيخه – حلة)

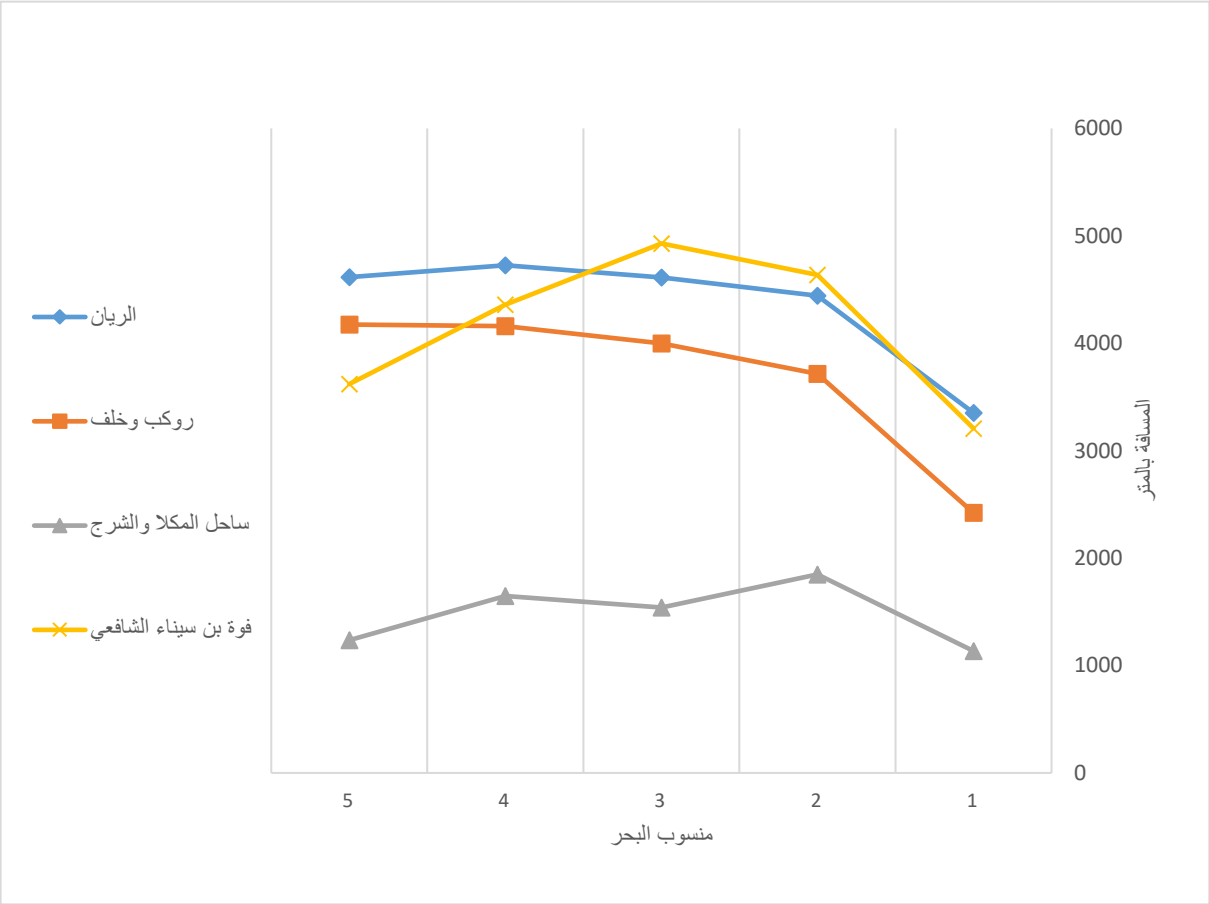
يتميز هذا الجزء الغربي من ساحل مدينة المكلا بأنه أكثر اتساعًا، ويمتد على مسافة طويلة، ويغلب على تكوينه الأراضي الرملية؛ نتيجة لوجود مصبات الأودية، مثل وادي امبيخه، ووادي تفات، ووادي فوه (الخربة)، ووادي غرير، ووادي الخمر، ووادي الشياخين، ووادي حلة، حيث تعمل هذه الأودية على تجديد الرواسب النهرية في مناطق التقاء الوادي بالبحر أثناء مواسم الأمطار التي تشهدها المدينة بين الحين والآخر، ولاسيَّما عند التطرف المناخي، الذي يضرب المدينة بين الحين والآخر، كإعصار تشابالا 2015م، وإعصار ميج 2015م، وإعصار لبان 2018م[41].

هذا القطاع شهد حراكًا تنمويًا واسعًا، وإنشاء مخططات حضرية جديدة، وخاصة مع تركز بعض القطاعات الخدمية في هذا الجزء، مثل جامعة حضرموت، ومستشفى ابن سيناء، وصالة العروض الواقعة على خط الستين. ويتراوح الارتفاع عن سطح البحر من (0 – 500) متر، وهو عباره عن أراضٍ وكثبان رملية، تتخللها بعض الأودية المذكورة أعلاه، التي تصب في البحر.

وهذا القطاع من أكثر القطاعات تغيرًا عند منسوب متر واحدٍ وصل 3207 متر ليبلغ ذروة التراجع نحو 4929 مترًا، وذلك عند منسوب ثلاثة أمتار، هذا التراجع بدأ في الانحسار والهبوط ليصل 3619 عند منسوب خمسة أمتار، وتعزى أسباب هذا الهبوط والانحسار لطبيعة تركيب القشرية الأرضية، ونوع الصخور التي تأخذ في الصلابة كلما اتجهنا نحو الشمال الغربي شمالًا من خط ساحل البحر.

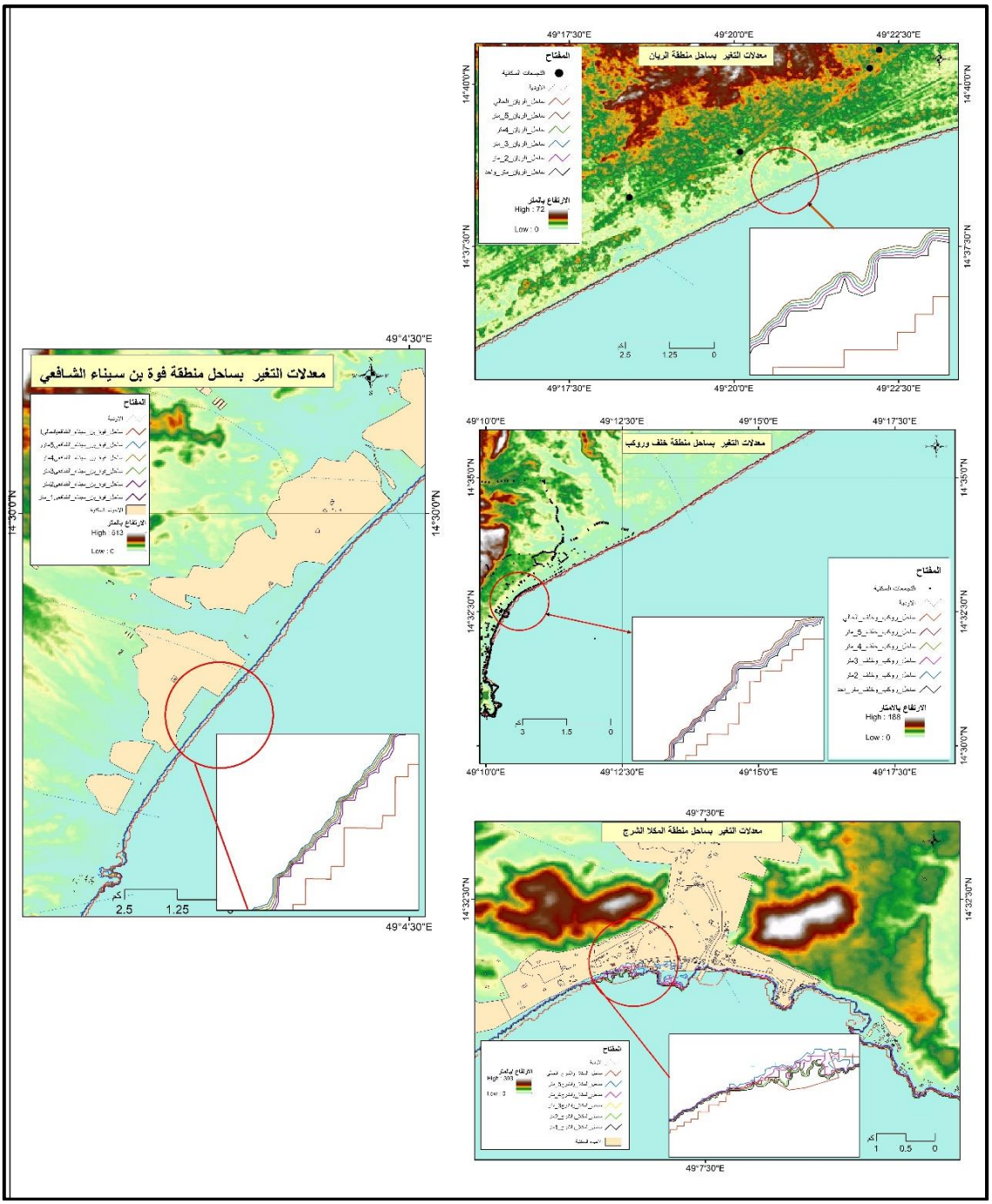
[41] المحمدي، وبارشيد: الأعاصير وأثرها في ساحل حضرموت، مجلة جامعة حضرموت للعلوم الإنسانية، العدد 1، المجلد 14 جامعة حضرموت، يونيو 2017م.

شكل رقم (8): مؤشرات التراجع بالمتر في بعض المناطق من ساحل مدينة المكلا
(في حالة ارتفاع منسوب سطح البحر من 1 حتى 5 م)



المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على برنامج arc gis10.5

شكل رقم(9): خطوط الساحل المتوقعة لبعض مناطق مدينة المكلا



المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على برنامج arc gis10.5

3. سيناريوهات المناطق المعرضة للغرق في حالة ارتفاع منسوب البحر من 1-5 أمتار.

تتعرض مدينة المكلا بين الحين والآخر إلى تطرفات مناخية غير عادية، وبالتالي حدوث منخفضات جوية على البحر العربي والمحيط الهندي، والذي يمتد تأثيرها إلى السواحل اليمنية وخاصة الواقعة على بحر العرب وخليج عدن، مما يؤدي إلى حدوث أمطار غزيرة مصحوبة بعواصف رعدية، وفي الآونة الأخيرة تكررت هذه المنخفضات الجوية الممطرة، فقد شهدت اليمن تقلبات مناخية خلال الفترة 2008-2019م، كان أولها الفيضانات التي حدثت في23 أكتوبر 2008م نتيجة العاصفة المدارية القادمة من البحر العربي، وضربت محافظات شبوة وحضرموت ساحلًا ووواديًا، ثم تتالت هذه المنخفضات الجوية لتشهد المدن الساحلية لليمن، وخاصة المكلا ومحافظة المهرة فشهدت إعصار تشابالا3 نوفمبر2015، وإعصار ميج 6 نوفمبر2015م، وإعصار لبان الذي ضرب سواحل المهرة وحضرموت وشبوة في 14 أكتوبر 2018.

صورة رقم (2): الفيضانات تجتاح مدينة المكلا في إعصار شابالا2015

المصدر:
https://images.alwatanvoice.com/news/large/9998645310.jpg
https://voiceofbeladynews.com/temp/resized/medium_2018-10-19-de8e097178.jpg

تسببت هذه الأعاصير في تدفق السيول بشكل كبير، طغى على الطاقة الاستيعابية لمجاري الوديان، في ظل وجود العوائق في بطون الأودية، مثل أشجار السيبان، ومخلفات المباني، والتوسع العمراني على حساب مجرى الوادي، أدى ذلك الى انجراف التربة الزراعية، وتدهور الأراضي الزراعية. بعض هذه الأودية تصب في اتجاه البحر وخاصة أودية حضرموت الجنوبية التي تصب في البحر، مثل وادي حجر، وادي حلة، وادي فوه، وادي امبيخة، وادي العيقة، الذي يتصل بالخور في وسط مدينة المكلا الشرج، وادي بويش وغيرها.

جدول رقم (3): المساحات المعرضة للغمر بساحل مدينة المكلا(في حالة ارتفاع منسوب سطح البحر من 1 حتى 5 م)

مستوى ارتفاع البحر/ بالمتر	المساحة/كم^2	
	اليابسة	المغمورة
منسوب 1 متر	310.40	1.43
منسوب 2 متر	309.46	2.38
منسوب 3 متر	306.76	5.07
منسوب 4 متر	300.24	11.59
منسوب 5 متر	292.03	19.81

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على برنامج arc gis10.5

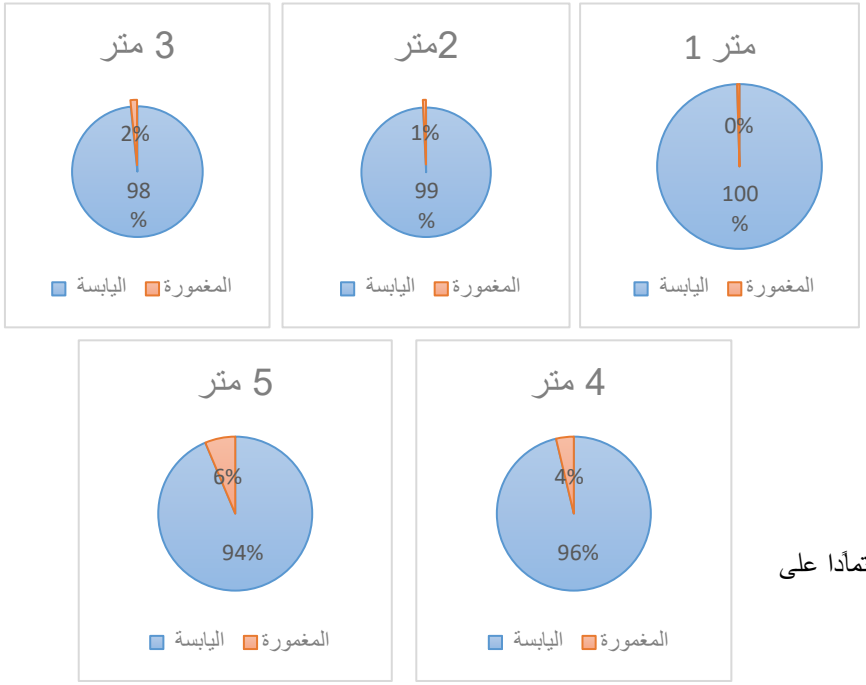
وبالتالي تعمل هذه السيول على زيادة منسوب مياه البحر، مما يرفع من وتيرة الفيضانات ويفاقم المشكلة، في ظل غياب خطة الطوارئ الاحترازية لمواجهة أخطار الفيضانات، وعدم صيانة مجاري الأودية، وتنظيفها من المعيقات، مثل أشجار السيسبان ومخلفات المباني... إلخ.

ويعد نظام المعلومات الجغرافية من التقنيات الحديثة التي تساعد في عمل تنبؤات بمخاطر الفيضانات وفق سيناريوهات وافتراضيات معينة، والنتيجة لهذا العمل تكمن في تحديد الأماكن المعرضة للغرق والخطيرة في مواسم الفيضانات، وبالتالي تساعد هذه التقنية وتوجه المسؤولين في الدفاع المدني إلى إخلاء هذه المناطق من السكان أثناء مواسم الفيضانات كخطة احترازية لحماية المواطنين والممتلكات العامة.

في هذا الدراسة قمنا بعمل سيناريو للتعرف على المناطق المعرضة للغرق وذلك لزيادة منسوب مياه البحر، ومجاري الأودية نتيجة الفيضانات الموسمية.

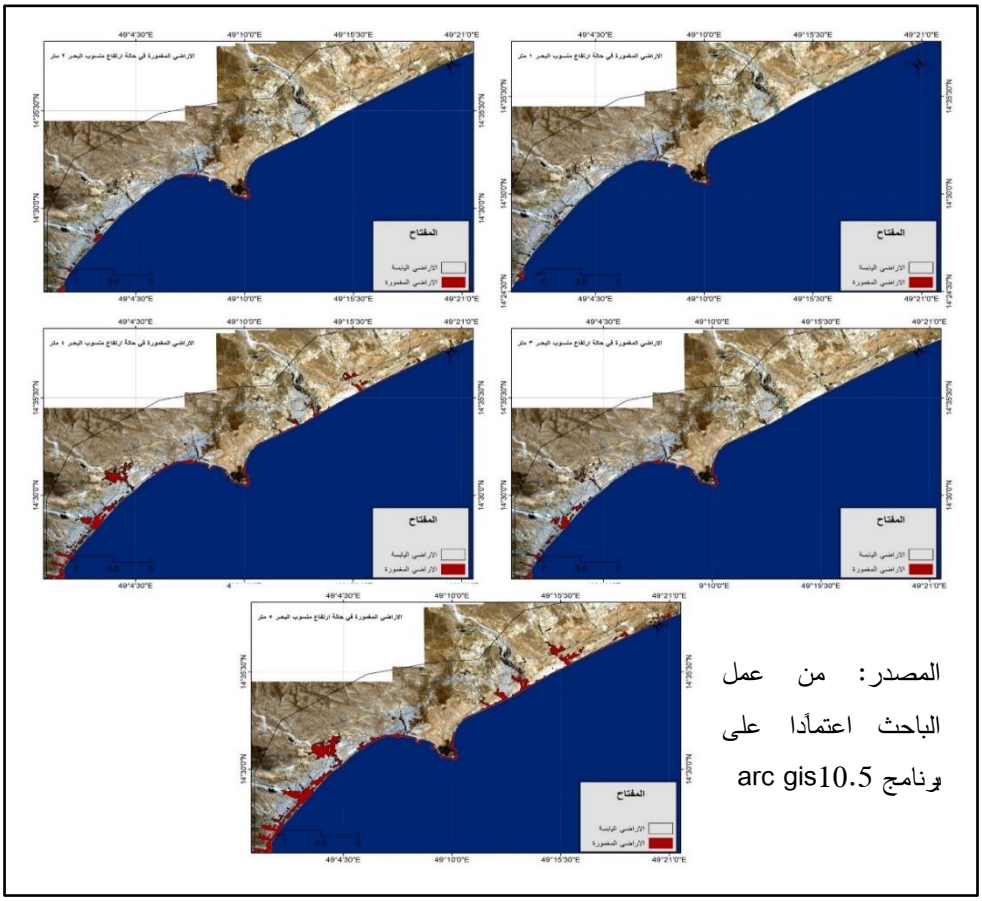
وقد كانت النتيجة كما في الجدول رقم (3) والشكلين رقم (10)، حيث تفاوتت مناطق الغرق من مكان لآخر وذلك حسب طبيعة التكوينات الجيولوجية وتضاريس المنطقة، وكانت مصاب الأودية وأماكن التقاء مياه البحر بالوادي هي الأكثر تعرضًا للغرق بسبب طبيعتها الهشة، وقد بلغت مساحة المناطق المعرضة للغرق عند مستوى (5) أمتار حوالي (6%) من إجمالي مساحة مدينة المكلا. وأكثر المناطق تأثرًا كما يوضحه الشكل رقم (11) مناطق الريان، وفوه، وامبيخة، وحلة، حيث يتخلل هذه المناطق عدد من الأودية التي تصب في البحر.

شكل رقم (10): سيناريوهات المناطق المعرضة للغمر بمياه البحر عند ارتفاع المنسوب 1-5 أمتار



المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على برنامج arc gis10.5

شكل رقم (11): سيناريوهات المناطق المعرضة للغمر بمياه البحر عند ارتفاع المنسوب 1-5 متر



المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على برنامج arc gis10.5

صورة رقم (3) آثار الفيضانات والأعاصير التي ضوبت سواحل مدينة المكلا

المصدر

https://m.youtube.com/watch?v=6pDlg36Iavw#menu

رابعًا: التوصيات

1. توصي الدراسة بتكثيف الجهود في مجال دراسة السواحل؛ إذ اتضح للباحث مدى الحاجة العاجلة للدراسة التفصيلية والدقيقة لبعض قطاعات السواحل في المحافظات اليمنية، وخاصة الواقعة على خليج عدن والبحر العربي، نظرًا لتكرار المنخفضات الجوية والعواصف المدارية.
2. الاستفادة من هذه الدراسة الجزئية، وتبنيها كنواة لعمل جماعي، تشكيل فريق من المختصين في الجيولوجيا، الجغرافيا، والبيئة، وعلوم البحار لدراسة التغيرات على السواحل اليمنية بشكل أوسع وأعم، والاستفادة من التقنيات الحديثة في هذا المجال.
3. ضرورة إنشاء وحدة الإنذار المبكر من أخطار الفيضانات والأعاصير في محافظة حضرموت، والتي مهمتها مراقبة السواحل الواقعة على خليج عدن والبحر العربي محافظات شبوة وحضرموت والمهرة وسقطرى، وتزويدها بالوسائل الحديثة والتجهيزات، وتدريب الكادر القادر على التعامل مع هذه الأجهزة واستخدامها بشكل سليم.

4. تفعيل قانون أراضي وعقارات الدولة، والخاص بتحديد الحدود العامة للأودية، وعدم السماح بالاعتداء والبناء في بطون الأودية، ومراقبة ذلك باستمرار وتطبيق القوانين الرادعة للمخالفين.
5. إن تغير المناخ أصبح حقيقة واقعة، وأن زيادة منسوب سطح البحر هي نتيجة حتمية، وإن اختلفت توقعات الارتفاع، وهنا يجب على الباحثين في مجال العلوم البحرية والجغرافية والدراسات البيئية مضاعفة الجهود، والتنسيق فيما بينهم كل في مجاله، لتقليل الأخطار الناتجة عن ارتفاع منسوب سطح البحر.
6. يجب إنشاء قاعدة بيانات جغرافية للرصد المنتظم لمستوى سطح البحر، ومتابعة العواصف، وحركة التيارات البحرية وملوحة التربة، ودرجات الحرارة الساحلية والعوالق النباتية، والتعرية الساحلية، وأن تكون متاحة للباحثين في هذا المجال.
7. مطالبة الجهات المختصة على المستوى الوطني، لزيادة الثقافة التوعوية والإرشادية بخطورة التغيرات المناخية
8. الاهتمام بظاهرة التغير المناخي من خلال تشجيع الدراسات والبحوث، وإقامة الندوات والمؤتمرات، التي تعتني بهذه الظاهرة.

المراجع:

بارشيد، محمد عوض. (2005). *جيومرفولوجية ساحل حضرموت*. رسالة ماجستير الآداب في الجغرافيا، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة النيلين، جمهورية السودان.

الجمهورية اليمنية، رئاسة مجلس الوزراء، محافظة حضرموت. (2008). *إنجازات حاضرة لتنمية مستدامة 2003 -2008*.

جودة، جودة حسنين. (1996). *قواعد الجيومورفولوجية العامة*. دار المعرفة الجامعية، الاسكندرية

صبيح، عمر عوض. (1995). *بعض الخصائص الطبيعية وتأثيراتها على البيئة البحرية*، بحث مقدم إلى مركز أبحاث علوم البحار والموارد البحرية، عدن.

عبد الفتاح البنا. (2009). مواجهة آثار التغيرات المناخية المرتقبة على المدن التراثية الساحلية في مصر، *مؤتمر التغيرات المناخية وأثارها في مصر*. شركاء التنمية القاهرة، 2-3 نوفمبر 2009.

لوتجنز، تاربوك. (1984). *الأرض – مقدمة للجيولوجيا الطبيعية*. تر. عمر سليمان حمودة وآخرون.

محمد، سعد جاسم وياسين عواد الدليمي. (2002). *أساسيات علم الجيومورفولوجية*. الدار العلمية الدولية، الطبعة الأولى – عمان.

المحمدي، عمر. (2012). *مدينة المكلا واقليمها الوظيفي (دراسة في الجغرافية الحضرية)*. أطروحة دكتوراه، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة عدن

المحمدي، وبارشيد: الأعاصير وأثرها في ساحل حضرموت. *مجلة جامعة حضرموت للعلوم الإنسانية*. العدد 1، المجلد 14 جامعة حضرموت، يونيو 2017.

هشلة، أمين. (2019). التدهور البيئي لساحل مدينة المكلا وتحديات التنمية المستدامة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد. *المؤتمر العلمي الرابع 24-25 يوليو2019 لجامعة حضرموت*. المكلا

يوسف شريف، علي البلوشي. (2014). مؤثرات التغير المناخي على مورفولوجيا الساحل العماني، *المجلة الجغرافية العربية*، العدد64 الجزء الثاني.

يوسف، عبد الحكيم محمد. (2000). *بعض الظواهر الجوية المؤثرة في تشكيل مناخ اليمن*. بغداد، اطروحة دكتوراه غير منشورة.

المراجع الأجنبية:

Azaz, L. (2012). Using GIS and remote sensing to map coastline changes of Wedam_Alsahel area, Batinah, Oman between 1998 and 2008. *the 33rd Asian Conference on Remote Sensing*, Thailand.

European Environment Agency (2005). *Vulnerability and Adaptation to Climate Change in Europe*. EEA Technical Report No.,7/2005*Geological Map of Eastern Aden Protectorate compiled by Z.R. Beydoun*

Mangor, K. (2004). *Shoreline Mangement Guidelines, DHI Water & Environment*. Hersholm, Denmark.

Nguyen, P. K. (2009). *Climate change and Sea level rise scenarios*. Ministry of Natural Resources and Environment. Hanoi, Vitnam.

مواقع إلكترونية

https://images.alwatanvoice.com/news/large/9998645310.jpg
https://m.youtube.com/watch?v=6pDlg36Iavw
https://m.youtube.com/watch?v=6pDlg36Iavw#menu
https://m.youtube.com/watch?v=hwK660LzU2c
https://voiceofbeladynews.com/temp/resized/medium_2018-10-19-de8e097178.jpg

SHU Journal for Humanities and Applied Sciences
Volume 1, Issue 1, June 2023, pp.60-87
https://shu.edu.ye

مجلة جامعة شبوة للعلوم الإنسانية والتطبيقية
المجلد الأول، العدد الأول، يونيو 2023، ص60-87

The Impact of Climatic Changes on the Coast of Mukalla City, Hadramout Governorate: Using Technologies of Geographic Information Systems

Ameen Abdulqader Heshlah
Asst. Prof. of maps and GIS
Dept. of Social Sciences, College of Education – Mukalla, Hadhramout University

Abstract
Climate change is currently one of the most serious natural challenges facing the world. Several factors have contributed to climate change; causing huge amounts of ice to melt and resulting in sea level rise that worries costal countries. To this end, the researcher selected Mukalla as a case study of climate change impact on the morphology of its coastline which extends about 63 km on the Gulf of Aden Sea. This paper aims to use GIS and remote sensing to develop a future vision of the shape of the coast of Mukalla in case the sea level increases from one meter to five meters, and what neighbourhoods are subject to flooding with sea water. The spatial analysis of digital elevation data (DEM) shows that the coast of Mukalla has witnessed a 47% change during the period 1973 - May 2019. The coast line will also change significantly if the sea level increases from one meter to five meters. Geological structure and topography of the coast will determine the amount of change. The places that will be immersed in sea water are mostly the areas where sea meets valleys in the neighbourhoods of Rayyan, Buish, Khor Mukalla and Fouh.

Paper Information
Received:19.03.2023
Accepted:21.05.2023

Keywords
climate change, GIS and remote sensing