



جامعة المنصورة

كلية الآداب

—

النمذجة المكانية للأثار المحتملة لارتفاع سطح البحر والهبوط الأرضي على محافظة دمياط باستخدام نظم المعلومات الجغرافية

إعداد

د. هشام داود صدقي بدوي

مدرس الجغرافيا الطبيعية - قسم الجغرافيا

كلية الآداب - جامعة دمياط

مجلة كلية الآداب - جامعة المنصورة

العدد الثاني والسبعون - يناير ٢٠٢٣

النمذجة المكانية للآثار المحتملة لارتفاع سطح البحر والهبوط الأرضي على محافظة دمياط باستخدام نظم المعلومات الجغرافية

د/ هشام داود صدقي بدوي

مدرس الجغرافيا الطبيعية - قسم الجغرافيا

كلية الآداب - جامعة دمياط

ملخص البحث:

تتناول هذه الورقة البحثية؛ تأثير ارتفاع سطح البحر (SLR) *Sea Level Rise*، كأحد آثار التغير المناخي، إضافة إلى تأثير الهبوط الأرضي على محافظة دمياط الساحلية؛ التي تصنف أراضيها ضمن أراضي السواحل المنخفضة المنسوب، المهددة بالاجتياح بسبب ارتفاع سطح البحر. وتعتمد هذه الدراسة على اتباع أسلوب محاكاة باستخدام النمذجة المكانية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، وقد تم بناء النموذج بواسطة برنامج ArcGIS 10.8.1، حيث تم إدخال البيانات المكانية الخاصة بمحافظة دمياط، مثل نموذج الارتفاعات الرقمي، وبيانات الهبوط الأرضي، وسيناريوهات التنبؤ المستقبلي بارتفاع مستوى سطح البحر التي توصلت إليها الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC في تقريرها السادس AR6 بحلول العام 2100م، وبيانات الغطاء الأرضي واستخدام الأرض، وبيانات الكثافة السكانية وقنوات الري والطرق، تبع ذلك استكمال تنفيذ الأوامر المطلوبة داخل النموذج وصولاً إلى النتائج، ثم تحليلها وتقييم الواقع واقتراح سبل التكيف والمواجهة. وتوصلت إلى تحديد موقع ومساحة المناطق المتوقع تضررها بمحافظة دمياط، وقد انتهت إلى أنه بحلول العام 2100م، فإن حوالي (263 كم²: 25.59%) من إجمالي مساحة المحافظة من المتوقع تعرضها للغرق طبقاً للسيناريو RCP2.6 (السيناريو المتفائل)، وأن حوالي (503.4 كم²: 49.16%) من المساحة الإجمالية لمحافظة دمياط من المتوقع تعرضها للغرق طبقاً للسيناريو RCP8.5 (السيناريو المتشائم)، وتوقع حدوث آثار سلبية على قطاعات اقتصادية مهمة؛ منها الصيد والزراعة والنقل والسياحة؛ بالإضافة إلى توقع هجرة بيئية قسرية لنحو (220,937 نسمة، 14.8%) من سكان المحافظة طبقاً للسيناريو RCP8.5 (السيناريو المتشائم)، وأن أكثر مناطق المحافظة التي يُتوقع أن تتأثر سلباً بارتفاع سطح البحر؛ هي (شرق مركزي فارسكور والزرقا، والأجزاء المطلة على بحيرة المنزلة في مركز دمياط والأطراف الشرقية لعزبة البرج وجنوب غرب مدينة رأس البر، إضافة إلى الأجزاء الغربية من كفر سعد وكل الجزر التابعة لمحافظة دمياط ببحيرة المنزلة). وعلى الرغم من عدم اليقين في معظم السيناريوهات المتوقعة لارتفاع سطح البحر، إلا إننا في حاجة إلى مثل تلك السيناريوهات ونتائجها؛ إذ أنها تساعد متخذي القرار في صياغة خيارات التكيف الفعالة مع هذه الأخطار. كما انتهت الدراسة إلى عدد من المقترحات للتكيف والتخفيف الحالية والمستقبلية؛ تتمثل في تقديم مشروع متكامل للحماية والتكيف، بالإضافة إلى تقوية وحماية الحاجز الرملي الشاطئي على امتداد ساحل دمياط ورفع مستواه، التوسع في إنشاء حواجز الأمواج.

الكلمات المفتاحية: التغير المناخي، ارتفاع منسوب سطح البحر، النمذجة المكانية، نظم المعلومات الجغرافية.

Abstract:

This study assesses the impacts of sea level rise (SLR), in addition to the impact of land subsidence on Damietta Governorate, whose lands are classified as Low Zone -Coastal laying, which are threatened by invasion due to sea level rise, under two future emission scenarios (RCP2.6 and RCP8.5). This work applied a simulation model through GIS environment, which accounted for the role of different environmental variables, such as Digital elevation model, land subsidence data, land use patterns, population density and distribution, irrigation canals and roads. This was followed by completing the implementation of the required orders within the model to reach the results, then analyzing them, evaluating the reality, and proposing ways of adaptation and confrontation. Maps were produced, allowing to define the most vulnerable regions across the study domain by 2100 and accordingly proposing the most appropriate mitigation and adaptation policies. Overall, results demonstrate that, under RCP2.6 and RCP8.5, respectively, almost (263 km²: 25.59%) and (503.4 km²: 49.16%) of the governorate are likely to be inundated by 2100. These negative impacts may extend to key economic activities like fishery, agriculture, tourism, and industry. Also, a forced environmental migration is projected for almost (220,937 people, 14.8%) of the total population under RCP8.5 simulations. The most vulnerable regions are likely to be low-elevated areas in East of Faraskour and Zarqa districts, as well as shorelines of Lake of Manzala. in the districts of Damietta and the eastern outskirts west of West Ras El Bar, in addition to the western parts of Kafr Saad districts and all the islands belonging to Damietta Governorate in Lake Manzala. Albeit with the uncertainty introduced in future simulation scenarios, the obtained results can provide a solid basis for decision-makers to adopt more "effective" mitigation and adaptation strategies in the near and far future. These may include strengthening the current sand barrier along the coast and increasing the number of breakwaters.

Keywords: climate change, sea level rise, spatial modeling, land Subsidence.

١ - مقدمة:

يحظى التغير المناخي باهتمام خاص في الأوساط العلمية والسياسية على مستوى العالم، فلم تعد ظاهرة بيئية أو علمية فحسب، بل أصبحت اليوم قضية أمن قومي، تشغل بال الحكومات والدول على المستوى العالمي، ويرجع ذلك إلى تأثير التغير المناخي على مختلف الظواهر الطبيعية والمناشط البشرية، إضافة إلى الغموض الذي يكتنفه؛ والعائد إلى وجهات النظر المتضاربة حوله - تهيلاً وتقليلاً -، من الآثار المترتبة عليه في المستقبل، وأن أكثر هذه الآثار خطورة هو ارتفاع مستوى سطح البحر (SLR) وغرق المناطق الساحلية.

ومن المنطق عليه الآن أن وتيرة تغير المناخ باتت أحد أكثر التوقعات، لأن انبعاثات الكربون منذ العام ٢٠٠٠م فاقت التقديرات التي توصلت لها الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ في العام ٢٠٠٧م. وإسقاطاً لذلك فإن السبب في تغير المناخ العالمي الحديث بشكل متسارع يعود إلى عوامل أغلبها بشرية، ناتجة عن تزايد النشاط الإنساني غير الرشيد، والتوسع في النشاط الصناعي خلال القرنين الأخيرين، حيث إن العوادم الصناعية لها تأثير مباشر في حدوث التغيرات المناخية، ويأتي في مقدمة هذه العوادم ثاني أكسيد الكربون الذي يعمل على حبس أشعة الشمس وزيادة الاحترار في جو الأرض (Christopher., 2010). ونتيجة لأهمية القضية وخطورتها فقد حظيت باهتمام دولي وعلى مستوى الحكومات، منذ بروتوكول كيوتو؛ الذي وقعت عليه نحو ١٧٠ دولة من دول العالم سنة ١٩٩٧م، واستمر ذلك الاهتمام الدولي في شكل في إنشاء وزارات تهتم بدراسة ورصد الظاهرة وتبعاتها على المستوى المحلي، واستمرار عقد قمة دولية سنوية للتباحث بشأن قضية التغير المناخي باعتبارها قضية كوكبية، وقد استضافت مصر المؤتمر السابع والعشرين لأطراف اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ Conference of the Parties (COP27) في مدينة شرم الشيخ في الفترة من ٧: ١٨ نوفمبر ٢٠٢٢م.

وقد بات من المؤكد أن مستوى سطح البحر العالمي قد ارتفع خلال القرن الماضي بشكل متدرج؛ وما زال حتى اليوم يزداد بمعدل تصاعدي بعد فترة تغير بسيطة خلال ال ٢٠٠٠ سنة الفائتة، ومن المتوقع أن يرتفع مستوى سطح البحر بمعدل أكبر خلال القرن الحادي والعشرين (IPCC, 2007). ومما لا شك فيه أن سيناريوهات غرق المناطق الساحلية المتوقعة في المستقبل - إذا ما وقعت فعلاً - سيكون لها آثار بيئية واقتصادية وديموغرافية وخيمة، إذ أن أكثر من ٧٠% من سكان الأرض يسكنون مناطق سهلية لا يزيد ارتفاعها عن ٢٠٠ متراً فوق مستوى سطح البحر.

ويمكن حصر الآثار الناجمة على ارتفاع سطح البحر في خمسة أشكال؛ وهي: التعرية الساحلية، وغمر الأراضي الساحلية، وتداخل مياه البحر Sea Water Intrusion مع خزانات المياه الجوفية الساحلية، وزيادة وتيرة الفيضانات البحرية، وتكرار هبوب العواصف البحرية على الأراضي (Douglas, 2001).

وتشير غالبية قياسات المد البحري في جميع أنحاء العالم إلى أن متوسط سطح البحر العالمي قد ارتفع ما بين (١٠ : ٢٥ سم) خلال المئة سنة الأخيرة. كما أن قياسات الأقمار الصناعية تشير إلى أن المعدل الحالي لارتفاع مستوى سطح البحر العالمي يبلغ نحو ٣ ملليمترات سنوياً (Church et al, 2001).

تعد مشكلة غرق السواحل واحدة من أهم المشكلات البيئية التي تواجه السواحل المنخفضة المنسوب Low Zone Coastal laying، ليس فقط على ساحل دلتا النيل إنما تؤثر أيضاً على معظم سواحل الدلتاوات في العالم. وتعد مصر واحدة من أعلى خمس دول في العالم يتهددها الخطر؛ إذا ما ارتفع سطح البحر العالمي متراً واحداً فوق مستواه الحالي، وخاصة ساحل دلتا النيل؛ الذي يتسم بقلّة ارتفاع السطح، فمن تتبع طبوغرافية ساحل الدلتا الممتد لنحو ٢٢٠ كم على طول ساحل البحر المتوسط، نلاحظ أنها أراضي سهلية تخلو أو تكاد تخلو من التضرس، مما ينبئ بتعرضها لآثار دراماتيكية شديدة الخطورة في حال ارتفاع منسوب سطح البحر عن وضعه الحالي ولو متراً واحداً.

وحتى تكتمل الصورة في الحكم على احتمالية تأثر محافظة دمياط بالاجتياح الكلي أو الجزئي لمياه البحر المتوسط، لابد من إدخال متغير آخر بالإضافة إلى متغير ارتفاع سطح البحر العالمي؛ وهو متغير الهبوط الأرضي land subsidence ومعدلاته السنوية المتوقعة حتى العام ٢١٠٠م، وفقد توصل (Elsaka et al., 2020) إلى أن منطقة الدلتا تعاني من هبوط أرضي واضح خاصة في شرقها وغربها، ممثلة بمحطات بورسعيد، ودمياط، والمنصورة والجمالية والإسكندرية وإدفينا. كما أظهرت نتائج الدراسة ارتفاع معدلات تآكل السواحل خاصة في أجزائها الشرقية والغربية.

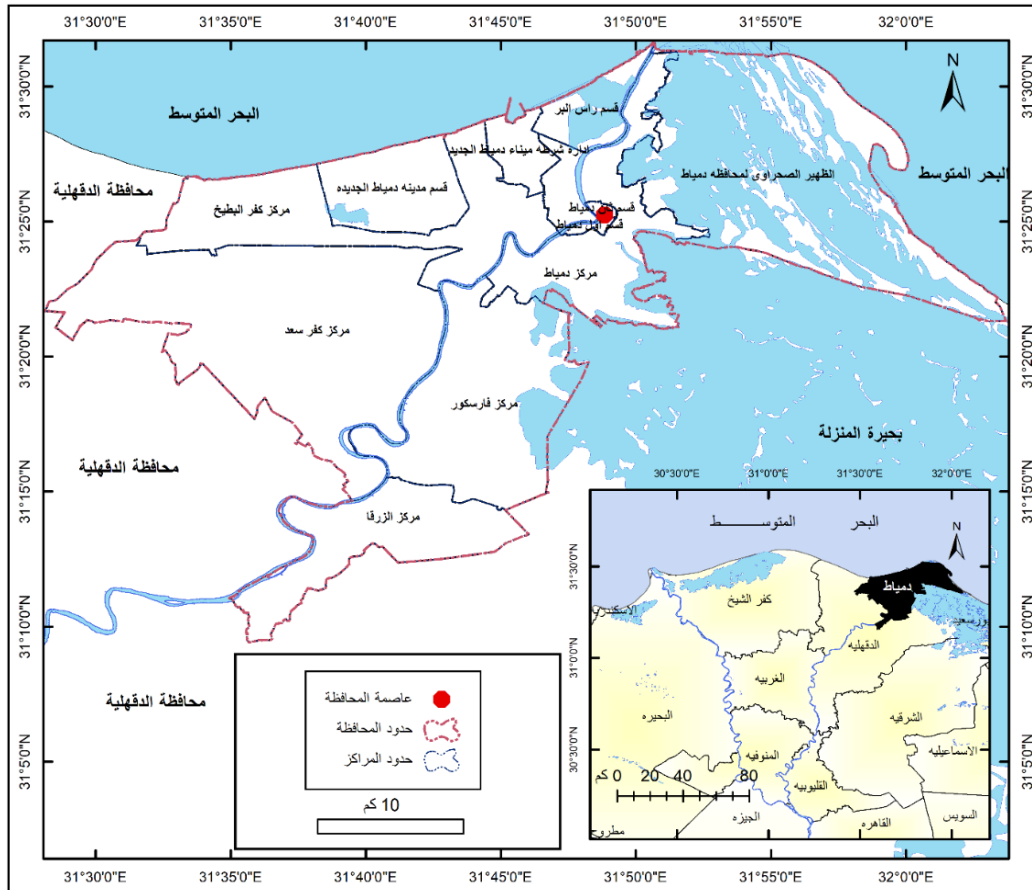
وتشير الاتفاقية الإطارية للأمم المتحدة بشأن التغير المناخي UNFCCC لعام ٢٠٠٩م والمنعقدة في كوبنهاجن بالدانمرك، أنه على الرغم من أن انبعاثات CO₂ في مصر لا تمثل سوى ١% من إجمالي انبعاثات هذا الغاز في العالم، إلا أن الدلتا المصرية تم تصنيفها على أنها إحدى أخطر ثلاث مناطق أكثر تعرضاً للآثار السلبية للتغير المناخي، بحكم وضعيتها الطبوغرافية، وتوقف النهر عن عمليات الترسيب بعد بناء السد (Egyptian Second National Communication, 2010)

٢ - حدود منطقة الدراسة وملامحها الجغرافية:

يتبين من الشكل (١) أن محافظة دمياط تمتد فلكياً بين دائرتي عرض ٢٨° ٠٩' و ٣١° ٤٥' و ٣١° شمالاً، وبين خطي طول ٣٠° ٢٨' و ٣١° ٠٥' و ٣٢° شرقاً، وتقع جغرافياً في شمال شرق الدلتا على مصب فرع دمياط، وتطل بجبهة كبيرة - بالنسبة لمساحتها - على البحر المتوسط من ناحية الشمال، وتطل على بحيرة المنزلة من ناحية الشرق، بينما تحدها محافظة الدقهلية من ناحية الجنوب والغرب؛ مستحوذة بذلك على أغلب الحدود البرية لمحافظة دمياط؛ الأمر الذي دعا (حمدان، ١٩٨٤) أن يلقب المحافظة اصطلاحاً "بالمحافظة الإسفين" بالنسبة لمحافظة الدقهلية، كما تشترك دمياط مع محافظة

بورسعيد بحدود برية محدودة للغاية لا تتجاوز ٢,٢٥ كم.

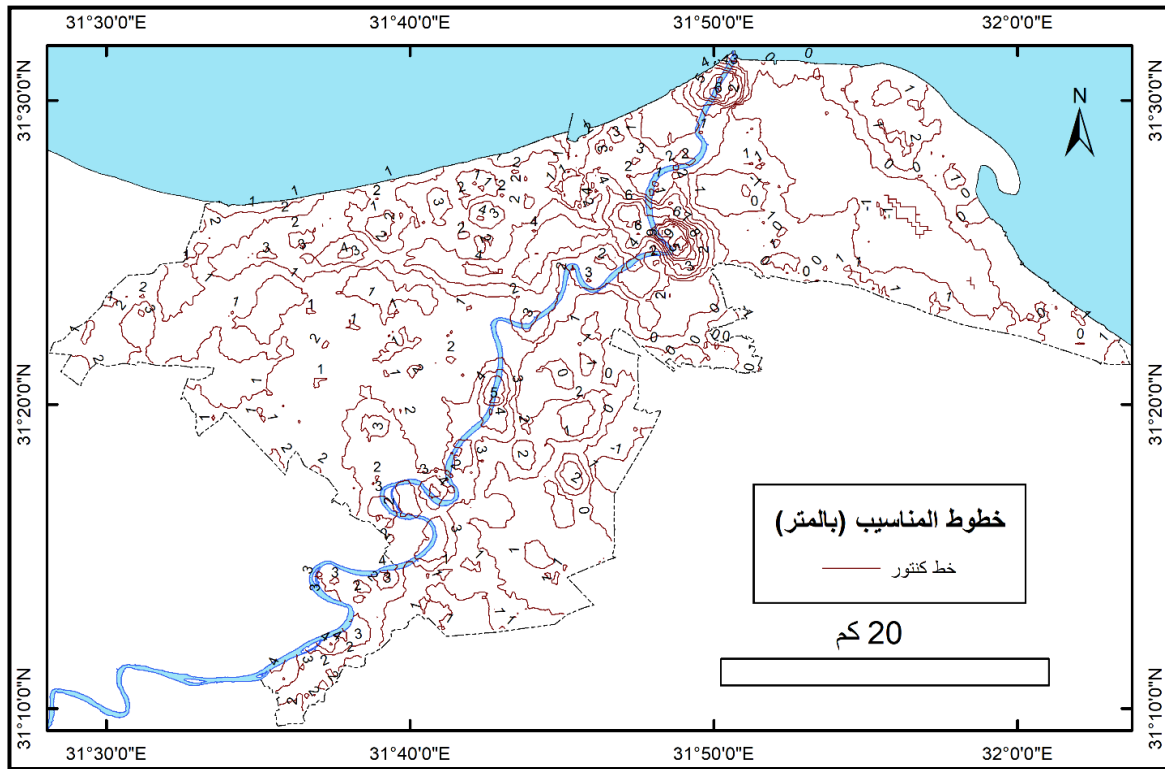
تبلغ مساحة محافظة دمياط نحو ١٠٢٩ كم^٢؛ بما يمثل ٠,١٠٣% من مساحة مصر، كما تمثل نحو ٤,٧% من مساحة الدلتا. ومن دراسة الخريطة الكنتورية للمحافظة، الموضحة بالشكل (٢) يتبين أن معظم السطح بها يتراوح ارتفاعه بين متر إلي مترين من مستوى سطح البحر المتوسط، اللهم إلا بعض الاستثناءات المحدودة جداً يبلغ ارتفاعها (٣، ٤ و ٦ أمتار)، مما ينبئ بخطورة ارتفاع سطح البحر العالمي على أراضيها، فقد أثر الموقع الجغرافي للمحافظة وإطلالتها البحرية الكبيرة نسبياً (٦٠ كم) بالإضافة إلي قلة منسوب السطح بها أن جعلها في غير مأمن من تأثير ارتفاع سطح البحر المحتمل في المستقبل، وخاصة أن كثير من مرافقها الحيوية وتوسعها العمراني يقع علي ساحل البحر المتوسط بشكل مباشر؛ فعلى سبيل المثال لا الحصر تقع كلاً من مدن رأس البر ودمياط الجديدة وعزبة البرج على ساحل البحر مباشرة فضلاً عن ميناء دمياط كأحد أهم المرافق الحيوية بالمحافظة، وقد قامت الدولة بعدد من المشروعات لحماية الشواطئ علي سواحل المحافظة كما يظهر في الشكل (٤) في سواحل شرق رأس البر.



المصدر: من عمل الباحث، اعتماداً على لوحات أطلس مصر الطبوغرافي مقياس ١:٥٠,٠٠٠،

لسنة ١٩٦٦م، باستخدام برنامج ArcGIS 10.8.1.

شكل (١) موقع محافظة دمياط.



المصدر: من عمل الباحث، مشتقة من الشكل (٦) باستخدام ArcGIS 10.8.1

شكل (٢) خطوط مناسيب السطح (بالمتر) لمحافظة دمياط.

تعاني التربة في دمياط من ارتفاع نسبة الملوحة كمحصلة لعدد من العوامل؛ تتمثل في خواص الأراضي الطبيعية والكيميائية، وتركيز الأملاح في المياه المستخدمة في الري، وطبيعة المناخ السائد، وحالة الصرف بالإضافة إلى إطلالة المحافظة على ساحل يبلغ طوله ٦٠ كم على البحر المتوسط (الشرباصي، ٢٠١٥). أضف إلى ذلك إطلالتها على بحيرة المنزلة من ناحية الشرق، كل ذلك كان له أثار ضارة على التربة وتملحها وجعلها غير صالحة لزراعة معظم المحاصيل الزراعية إلا بعد توجيه كثير من العناية باستصلاحها (معروف، ١٩٩٤).

وتنقسم محافظة دمياط إدارياً إلى خمسة مراكز وهي: دمياط وكفر البطيخ وكفر سعد وفارسكور والزرقا. وقد بلغ عدد سكان المحافظة ١,٤٩٦,٧٦٥ نسمة، وفقاً لتعداد ٢٠١٧م، وبلغ وفقاً لتقديرات ٢٠٢١م نحو ١,٥٨٤,٩٥٢ نسمة (الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، ٢٠١٧ و ٢٠٢١). ويعد النشاط الزراعي والأنشطة المرتبطة به أكبر قطاعات الأنشطة الاقتصادية في دمياط، وتشتهر المحافظة كما يظهر بالشكل (٣) بزراعات النخيل والجوافة، بالإضافة إلى المحاصيل التقليدية مثل الأرز، كما تشتهر بأنشطة أخرى مثل صناعة الأثاث، الصيد، صناعة الألبان، والنشاط السياحي.



شكل (٣) الزراعات الممتدة على جانبي الطريق بين جمصة – دمياط الجديدة.



شكل (٤) حواجز الأمواج في شرقي مدينة رأس البر غرب مصب دمياط.

٣- مشكلة الدراسة:

يحتمل أن تتعرض دمياط للغرق الجزئي بحلول العام ٢١٠٠م، ويعتمد البحث على سيناريوهين (محتملين) لتأثير ارتفاع سطح البحر والهبوط الأرضي، مضافاً إليها مجموع معدلات الهبوط الأرضي السنوية لمحافظة دمياط طبقاً لما توصل إليه كل من ستانلي ووارن عام ١٩٩٣م (Stanley, and Warne., 1993)، وتوقع كل ما يمكن أن يحدث لمحافظة دمياط الساحلية؛ من خلال وضع أسلوب محاكاة باستخدام النمذجة المكانية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، ومدى تأثير ذلك على العديد من الظواهر الطبيعية والأنشطة البشرية.

٤- الدراسات السابقة:

نادرة هي الدراسات السابقة التي ركزت على ما سيؤول إليه وضع المنطقة الساحلية لمحافظة دمياط مثل: دراسة (البناء، ٢٠١٧) بعنوان "توجد دراسة عن: دراسة مقارنة للأخطار الهيدروجيوميورفولوجية بمنطقة دمياط ورشيد باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد"، رسالة دكتوراة، كلية الآداب، جامعة بنها، حيث تناولت الدراسة فصلاً كاملاً عن تأثير التغيرات المناخية (مناسب سطح البحر) على الأنشطة البشرية بمنطقة دمياط.

إلا أن سواحل دلتا النيل المصرية بصفة عامة حظيت بالعديد من الدراسات التي ركزت على فعل التعرية البحرية، والهبوط الأرضي لشمال شرق الدلتا، وأثر المنشآت الهندسية المقامة هناك؛ كالموانئ في تغيير خط الساحل، وتأثير ارتفاع منسوب سطح البحر عليها مستقبلاً، فمن الدراسات السابقة: دراسة (Frihy, 1988) بعنوان "تغير شواطئ دلتا النيل دراسة تصويرية جوية لمدة ٢٨ سنة"، وقد توصلت الدراسة إلى نشاط التعرية الشاطئية في رؤوس الدلتا الثلاث وذلك بسبب انقطاع إمدادات الرواسب بعد بناء السد العالي، وأن معدلات التآكل خلال ٢٨ سنة هو ١١٤، ٩ و٣١ متر/سنة على الترتيب لكلا من رشيد وبلطيم ودمياط. ودراسة (EL-Raey et al., 1999) بعنوان "استخدام الاستشعار عن بعد لرصد تآكل وتقدم الشواطئ على طول ساحل دمياط - بورسعيد، مصر" وتوصلت الدراسة إلى تزايد النحر في غرب المنطقة المدروسة، وتعادل النحت والإرساب في الوسط، أما شرق المنطقة فيتميز بانجراف طفيف. ودراسة (El-Asmar, 1999) بعنوان "رصد تغير مواقع الخطوط الساحلية باستخدام ماسح الخرائط الموضوعي TM - مثال من دلتا النيل" وقد توصلت الدراسة إلى أن هناك تراجعاً في خط ساحل الدلتا، وأن التعرية الشديدة محصورة في رؤوس الدلتا (دمياط ورشيد).

ودراسة (أبو راضي، ١٩٨٨) بعنوان "ديناميات التعرية الشاطئية والتغيرات المعاصرة لساحل دلتا النيل"، واهتمت الدراسة بتوزيع نطاقات النحت والإرساب على سواحل الدلتا والعوامل الجيومورفولوجية الساحلية المؤثرة فيها. ودراسة (Frihy, 2003) بعنوان "ساحل دلتا النيل - الإسكندرية: تأثيره بارتفاع

مستوى سطح البحر، العواقب والتكيف والتخفيف واستراتيجيات التكيف مع التغير العالمي" وكشفت الدراسة أن جميع المناطق الساحلية لدلتا النيل ليست معرضة لارتفاع مستوى سطح البحر المتسارع عند نفس المستوى، استناداً إلى معايير متعددة. ودراسة (Becker & Sultan., 2009) بعنوان "هبوط الأرض في دلتا النيل: استنتاجات من قياس الرادار". تم تقييم معدلات الهبوط الحديثة لشمال شرق الدلتا بطول ١١٠ كم باستخدام الرادار بما يتراوح بين ٢: ٦ مم/ سنة، وتوصلت إلى أن سواحل دمياط مهددة بعمليات الهبوط الأرضي بشدة.

ودراسة Doluschitz (El-Nahry & , 2010) بعنوان "تغير المناخ وانعكاساته على المنطقة الساحلية لدلتا النيل بمصر" وتوصلت الدراسة أن دلتا النيل ستواجه تهديداً أكبر بسبب SLR والهبوط الأرضي أيضاً. كما لوحظ زيادة سريعة في قيم الملوحة خلال العقود الثلاثة الماضية، بسبب تسرب المياه المالحة من البحر المتوسط.

ودراسة (عودة، ٢٠١٠) بعنوان "أطلس مخاطر التغيرات المناخية على السواحل المصرية والسياسات الدفاعية الواجبة" وقدمت الدراسة نحو ٩٣٥ شكلاً، منها ٧٣٤ لوحة تضم خرائط طبوغرافية وجيومرفولوجية تفصيلية للشواطئ المصرية في وضعها الراهن والمستقبلي حال ارتفاع منسوب البحر. ودراسة (Frihy., 2010) بعنوان "الإسكندرية وساحل دلتا النيل، مصر: تحديث وإسقاطات مستقبلية لارتفاع النسبي لمستوى سطح البحر" استنتجت الدراسة أن هناك تفاوتاً في المعدلات السنوية لمنسوب سطح البحر، وأن أعلى معدلاته عند رشيد وأقلها عند الاسكندرية.

ودراسة (Hassaan., 2013) بعنوان "تقييم المخاطر القائم على نظم المعلومات الجغرافية للمنطقة الساحلية لدلتا النيل في ظل سيناريوهات مختلفة لارتفاع مستوى سطح البحر دراسة حالة: محافظة كفر الشيخ، مصر" تشير النتائج إلى أن أكثر من ٢٢,٥٩% و ٢٤,٥٠% من إجمالي مساحة محافظة كفر الشيخ ستكون عرضة للاجتياح المباشر طبقاً للسيناريوهين المختارين.

ودراسة (Hereher., 2015) بعنوان "تقييم الضعف الساحلي لساحل البحر المتوسط في مصر" أظهرت الدراسة أن أكثر من ثلث الساحل معرض بشدة لارتفاع سطح البحر، وأن المنطقة المعرضة بشدة لارتفاع سطح البحر تضم ساحل دلتا النيل المكتظ بالسكان، يجب تنفيذ الإجراءات لحماية الساحل بأكمله في المواقع المهددة.

ودراسة (Refaat & Eldeberky., 2016) بعنوان "تقييم الفيضانات الساحلية بسبب ارتفاع مستوى سطح البحر علي طول ساحل البحر المتوسط في مصر، الجيوديسيا البحرية" وقد توصلت الدراسة إلى تحديد الشواطئ المعرضة لخطر ارتفاع منسوب سطح البحر، بما في ذلك الأراضي الزراعية والرطبة والمناطق السكنية، وأن حوالي ٧% من مساحة الدلتا معرضة للغرق مستقبلاً.

ودراسة (درويش، ٢٠١٧) بعنوان "استخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية

(GIS) في نمذجة، وتقييم، وتحليل تغير مستوى سطح البحر، وتراجع الشواطئ، وأخطار التعرية الساحلية على ساحل دلتا النيل في مصر"، وقد تناول في الفصل الرابع استخدام أسلوب النمذجة المكانية لتغير سطح البحر وتأثيره المستقبلي على منطقة الدراسة باستخدام GIS، جاء الفصل الأخير عن أخطار التعرية الساحلية وتقييم وسائل حماية الشواطئ والوضع المستقبلي لمنطقة الدراسة. ودراسة (Deabes, 2017) بعنوان "تطبيق ArcGIS لتقدير معدلات تغير خط الساحل ومنطقة الساحل الخلفي علي طول ساحل دلتا النيل - مصر" وتوصلت إلى أن التآكل بمعدلات أسرع يحدث على طول رؤوس الدلتا الثلاث (رشيد، البرلس، ورأس البر) وأن الهياكل الهندسية التي تتبنى الدولة تشييدها لم تحل مشكلة الانجراف أو توقفها.

دراسة (Elkafrawy et al, 2021) بعنوان "تطبيقات الاستشعار عن بعد وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية لتقييم فعالية الهياكل الساحلية على طول رأس البرلس - شرق دلتا النيل، مصر" تظهر نتائج هذه الدراسة أن بعض أنواع هياكل الحماية لم تكن فعالة في التخفيف من تآكل السواحل في منطقة رأس البرلس.

ودراسة (Mohamed & Mahmoud., 2020) بعنوان "تقييم فعالية السياسات البحثية بشأن إجراءات التكيف مع التغيرات المناخية، الغرق الناجم عن ارتفاع مستوى سطح البحر أمام دلتا النيل". وقد وجدت الدراسة أن الأبحاث التي تناولت الموضوع قدمت معلومات وافية عن تعرض دلتا النيل للغرق مستقبلاً بسبب ارتفاع سطح البحر.

بالإضافة إلى دراسات أخرى مثل: (Hereher, 2010; El Shinawy et al., 2012; Ismail et al., 2012; Haggag et al., 2013; Zaid et al, 2014 ; Hasan, et al., 2015).

تتفرد هذه الدراسة، بتركيزها على التنبؤ بالوضع المستقبلي المحتمل الذي يمكن أن تقول إليه الأوضاع في محافظة دمياط الساحلية، من خلال تبني سيناريوهات مستقبلية خاصة بارتفاع سطح البحر العالمي قدمتها الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بحلول العام ٢١٠٠م، ودمجها مع احتمالات الهبوط الأرضي في المنطقة طبقاً لستانلي ووارن سنة ١٩٩٣م (Stanley, and Warne., 1993).

٥ - أهداف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلي:

- تحديد أماكن الخطر على سواحل محافظة دمياط؛ إذا ما تحققت سيناريوهات الهبوط الأرضي وارتفاع منسوب البحر أمامها.

- هل توجد درجات لهذه الخطورة على سواحل محافظة دمياط.

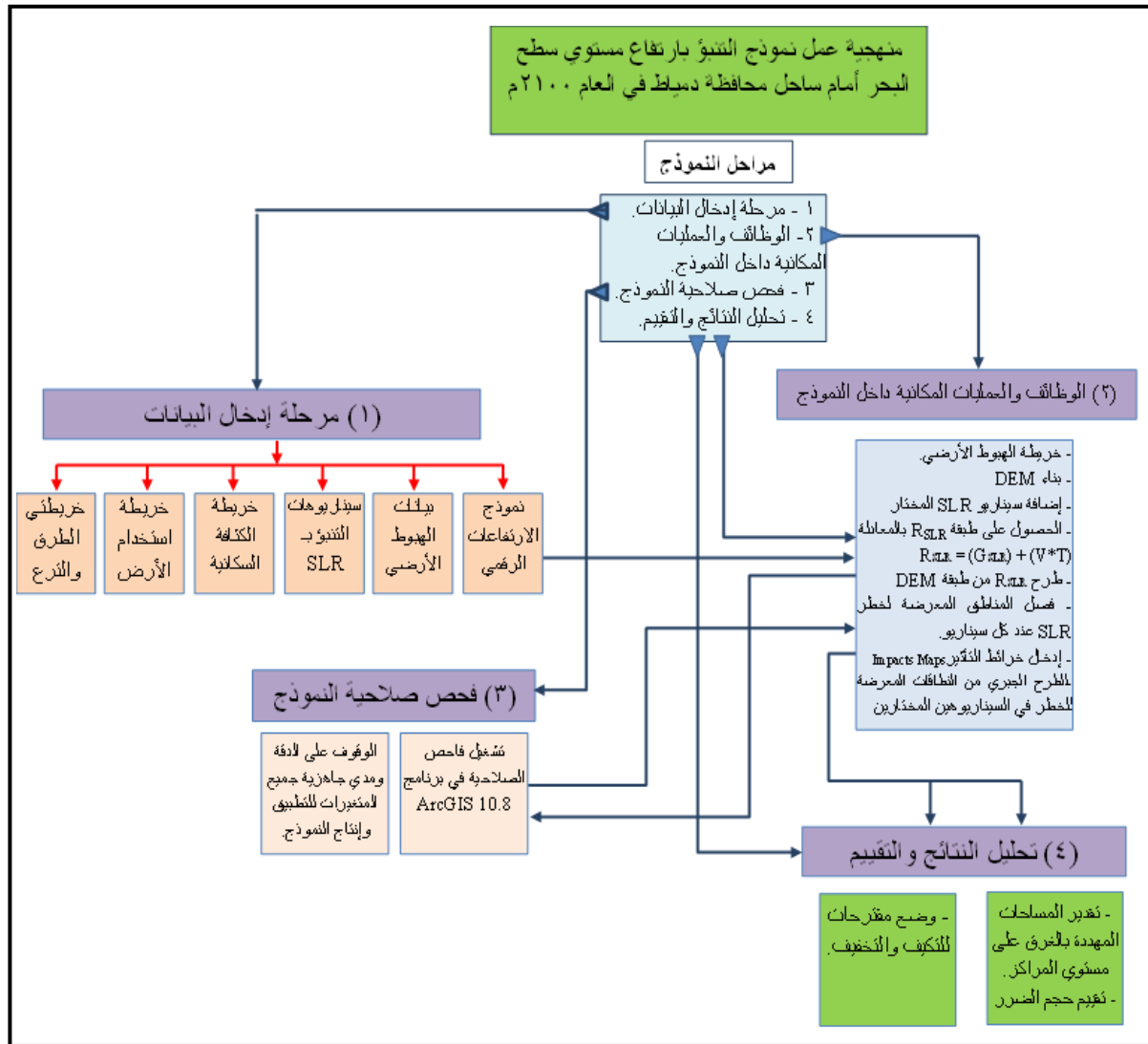
- رصد المناطق المتوقع تضررها، ومساحاتها، من خلال أسلوب المحاكاة باستخدام النمذجة المكانية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية.
- التنبؤ بمواضع خط الساحل لمحافظة دمياط في المستقبل.
- تقييم الآثار المتوقعة على المناشط الاقتصادية والاجتماعية؛ مثل تأثيرها على قطاع الصيد والزراعة والسكن، إذا ما ارتفع منسوب سطح البحر المتوسط أمام سواحل المحافظة.
- تقييم مدي إمكانية حدوث هجرات قسرية بيئية للسكان؛ إذا ما ارتفع منسوب سطح البحر المتوسط أمام سواحل المحافظة.
- تقديم عدد من المقترحات للتكيف Adaptation والتخفيف Mitigation في حالة حدوث الظاهرة.

٦ - تساؤلات الدراسة:

- ما مدي حساسية سواحل محافظة دمياط وقابليتها للتأثر بالتغيرات المناخية وخاصة ارتفاع منسوب سطح البحر؟
- ما المناطق المعرضة للخطر في محافظة دمياط وفق أكثر السيناريوهات تفاؤلاً وتشاؤماً؟
- ما مدي تأثير ارتفاع منسوب سطح البحر المحتمل ومعدلات الهبوط الأرضي على الأصول الطبيعية والمناشط البشرية في المحافظة دون إسقاط لرأي الباحث وتحيزاته، من خلال الوصف الدقيق والموضوعي لما يمكن أن يحدث بحلول العام ٢١٠٠م؟
- هل لبناء السد العالي دور في الهبوط الأرضي، وبالتالي تقاوم ارتفاع منسوب سطح البحر النسبي R_{SLR} ؟
- ما الحلول المقترحة لمساعدة متخذي القرار في المواجهة والتكيف مع ارتفاع منسوب سطح البحر والهبوط الأرضي المحتملين؟

٧ - منهجية الدراسة:

اعتمدت هذه الدراسة على تقنية نظم المعلومات الجغرافية، باستخدام برنامج ArcGIS 10.8.1 لإنتاج عدد من الخرائط التي تعالج مشكلة البحث، وتصميم أسلوب محاكاة لارتفاع منسوب سطح البحر أمام ساحل الدلتا يتبنى سيناريوهات الارتفاع التي توصلت إليها الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ في تقريرها السادس AR6 الصادر عام ٢٠١٩م؛ مضافاً إليها احتمالات الهبوط الأرضي بمنطقة شمال شرق الدلتا طبقاً لما توصل إليه كل من ستانلي ووارن (Stanley, and Warne., 1993)، حيث يتوقع تقرير AR6 أن يرتفع مستوى سطح البحر العالمي بحلول العام ٢١٠٠م ما بين ٠,٢٩ : ٠,٥٩ سم وبمتوسط ٠,٤٣ سم (السيناريو المتفائل RCP2.6)، بينما يتراوح (السيناريو المتشائم RCP 8.5) ما بين ٠,٦١ : ١,١٠ سم، وبمتوسط ٠,٨٤ سم (IPCC, 2019).



المصدر: من عمل الباحث، اعتماداً على برنامج Visio ضمن حزمة برامج ميكروسوفت.

شكل (٥) الخطوات المنهجية لبناء النموذج.

ومن خلال تقنية النمذجة المكانية - الزمانية Spatial modeling and analysis في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، تم بناء نموذج مكاني باستخدام واجهة بناء النماذج المكانية ArcGIS Model Builder التي تعتمد على المتغيرات المكانية المتعددة spatial - variables والعمليات والحسابات المكانية المتقدمة Geoprocessing لقواعد البيانات المكانية لبناء نموذج لارتفاع مستوي سطح البحر النسبي عند نقطة معينة من الزمن (درويش، ٢٠١٧)، والتنبؤ المستقبلي بما سيكون عليه مستوي سطح البحر وتقدم أو تراجع شواطئ منطقة الدراسة. والهدف من استخدام النمذجة المكانية - الزمانية هو الربط بين السيناريوهات المستقبلية لارتفاع مستوي سطح البحر ومعدلات الهبوط الأرضي لساحل محافظة دمياط ومعدلات التدفق السنوي للرواسب الفيضية بها، وخرائط استخدام الأرض Land use والغطاء

الأرضي وكثافة السكان والطرق وشبكة ترع الري من أجل التنبؤ المستقبلي في مدي زمني مقداره نهاية القرن الحادي والعشرين (٢١٠٠) لبيان مدي الضرر المحتمل للظاهرة محل الدراسة على الأنشطة البشرية المتمثلة في استخدام الأرض (أراض زراعية وعمران وأراض رطبة ومساحات مائية وأراض صحراوية)، وشبكات الطرق الرئيسية والتركز السكاني في المحافظة ومراكزها واقسامها الإدارية. وكما هو مبين بالشكل (٥) تنقسم مراحل بناء النموذج في بيئة نظم المعلومات الجغرافية إلى أربعة مراحل، وهي:

- مرحلة إدخال البيانات: وتشمل البيانات المكانية Raster or Vector Data الخاصة بمحافظة دمياط، ومن أهمها (نموذج الارتفاعات الرقمي Digital elevation model وبيانات الهبوط الأرضي، وسيناريوهات التنبؤ المستقبلي بارتفاع مستوى سطح البحر، خريطة استخدام الأرض والغطاء الأرضي، وخريطة الكثافة السكانية - خريطة شبكة الطرق والترع للمنطقة المدروسة (درويش، ٢٠١٧).

- المرحلة الثانية: الوظائف والعمليات المكانية داخل النموذج.

- المرحلة الثالثة: فحص صلاحية النموذج.

- المرحلة الرابعة: تحليل النتائج والتقييم واقتراح سبل التكيف والمواجهة.

حيث تركز هذه الدراسة على الآثار المترتبة على تغير مستوى سطح البحر النسبي (R_{SLR}) على محافظة دمياط وسبل مواجهتها والتكيف معها، وقد زود البحث بمجموعة من الخرائط والأشكال التي تم الاستعانة في إخراجها بتقنية نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS.

٨ - النتائج ومناقشتها.

٨-١ - أسباب ارتفاع منسوب سطح البحر العالمي.

يمكن إجمال العوامل المتحكمة في ارتفاع منسوب سطح البحر العالمي SLR في: الاحتباس الحراري وتأثيره على التمدد الحراري لمياه المحيطات، ونمو/انكماش الجليد المتمثل في انصهار الثلجات القطبية والقلنسوات الجليدية وهوامش قارة أنتاركتيكا وجزيرة جرينلاند، حركات الهبوط والرفع الأرضي الناجم عن الحركات التكتونية، تيارات المد الزلزالية (تسونامي)، تدفق الرواسب الأرضية نحو المحيط، تغير الخصائص الفيزيائية للتيارات المحيطية، التغيرات في ضغط الغلاف الجوي (درويش، ٢٠١٧).

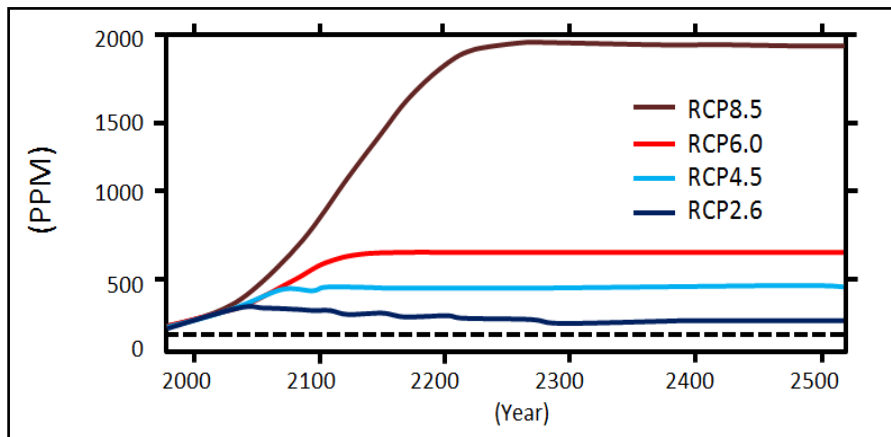
يعد الاحتباس الحراري السبب الرئيس في ارتفاع مستوى سطح البحر العالمي SLR، حيث يتمثل تأثيره في شكلين: الأول يأخذ شكل ذوبان الثلجات والصفائح الجليدية في القطبين، والثاني، يتمثل في ارتفاع درجة حرارة مياه المحيط مما يؤدي إلى اتساع حجمه بفعل التمدد الحراري (Lindsey et al., 2020).

يشير التقرير الرابع AR4 المقدم من الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC إلى أن درجة حرارة الأرض سجلت اتجاهاً عاماً صاعداً خلال الفترة (١٩٠٦:٢٠٠٥) بلغ ٠,٧٤ درجة مئوية، وقد أشار

نفس التقرير أن هناك ارتباطاً طردياً بين الاحترار العالمي وارتفاع مستوى سطح البحر العالمي خلال الفترة من (١٩٠١ : ٢٠١٠)، حيث بلغ ٠,١٩ متراً (IPCC, 2007). وترجع الزيادة في معدلات درجات الحرارة العالمية التي تم رصدها إلى زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون CO₂ في الغلاف الجوي من نحو ٢٨٠ جزء في المليون في عصر ما قبل التصنيع، إلى ٤٣٠ جزء في المليون، وإذا ما وصلت هذه التركيزات إلى ٥٥٠ جزءاً في المليون؛ وهو معدل يمكن بلوغه في وقت مبكر لا يتعدى العام ٢٠٣٥م، إذا ما استمرت الانبعاثات على وتيرتها الحالية، فإن ذلك يؤدي إلى ارتفاع معدلات درجات الحرارة العالمية بأكثر من درجتين مؤويتين (كمال & صعب، ٢٠٠٩).

ويتسبب ارتفاع درجات الحرارة بشكل مطرد في ذوبان الجليد في المناطق القطبية، وكذلك الأنهار الجليدية في العالم، وارتفاع حرارة المحيطات قد يجعل مستوى سطح البحر يرتفع بمقدار يصل إلى ٥٩ سنتيمتر بحلول العام ٢١٠٠م أو حتى بمقدار يصل إلى ٥ أمتار إذا ما أخذ بالحسبان ذوبان جزء من الصفحة الجليدية في القارة القطبية الجنوبية (المنتدى العربي للبيئة والتنمية، ٢٠٠٩).

وبملاحظة الشكل (٦) يتبين أن كل السيناريوهات التي وضعتها الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC في التقرير التجميعي لسنة ٢٠١٤م باستثناء السيناريو RCP2.6 تتنبأ بتصاعد كمية CO₂ في جو الأرض خلال الخمسة عشر سنة القادمة، فالسيناريو RCP6.0 يتنبأ بتركيز مكافئ ثاني أكسيد الكربون في العام ٢١٠٠م بنحو ١٠٠٠ جزء في المليون، وهذا بالطبع سيتبعه آثار كارثية لمناخ الأرض إذا لم تقدم دول العالم وخاصة الدول الصناعية حلاً عملياً لخفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.



Source: (IPCC, 2014)

شكل (٦) سيناريوهات كمية CO₂ في الغلاف الجوي للأرض.

تشير الإسقاطات الواردة بالجدول رقم (١) إلى أنه من المرجح أن يتجاوز تغير المتوسط العالمي في درجات الحرارة السطحية في نهاية القرن الحادي والعشرين في معظم السيناريوهات نحو ١,٥ درجة مئوية

(بتقنة عالية)، مما سيكون له تبعات خطيرة وخاصة على منسوب سطح البحر العالمي، وستستمر المنطقة القطبية الشمالية في الاحترار بوتيرة أسرع من المتوسط العالمي (بتقنة عالية جداً) وسيكون متوسط الاحترار على اليابسة أعلى منه في المحيطات (بتقنة عالية جداً) وأعلى من متوسط الاحترار العالمي.

جدول (١) التغير المُسقط في متوسط درجات الحرارة السطحية عالمياً لمنتصف وأواخر القرن ٢١ اعتماداً على بيانات الفترة من (١٩٨٦ - ٢٠٠٥).

٢٠٨١ - ٢١٠٠		٢٠٤٦ - ٢٠٦٥		السيناريو	
النطاق المرجح	المتوسط	النطاق المرجح	المتوسط		
١,٧ إلى ٠,٣	١,٠	١,٦ إلى ٠,٤	١,٠	المسار ٢,٦	المتوسط العالمي
٢,٦ إلى ١,١	١,٨	٢,٠ إلى ٠,٩	١,٤	المسار ٤,٥	لتغير في درجات الحرارة (م ^٥)
٣,١ إلى ١,٤	٢,٢	١,٨ إلى ٠,٨	١,٣	المسار ٦,٠	
٤,٨ إلى ٢,٦	٣,٧	٢,٦ إلى ١,٤	٢,٠	المسار ٨,٥	

Source: IPCC, 2013

ويعد الهبوط الأرضي من العوامل المتحكمة في ارتفاع مستوى سطح البحر، ففي دراسة اعتمدت على تحليل سجلات مقاييس المد والجزر لسواحل مدينتي الإسكندرية وبورسعيد، استنتجت أن ارتفاع مستوى سطح البحر المحلي يختلف من منطقة لأخرى بسبب اختلاف تأثير الهبوط الأرضي، وقد بلغ أمام مدينة الإسكندرية (٢ ملليمتر/سنة)، (٢,٤ ملليمتر/سنة) لمدينة بورسعيد (Frihy, 1984).

ويفسر الارتفاع المضطرب في مستوى سطح البحر أمام المدينتين بالعديد من الأسباب، منها الهبوط الأرضي الذي تتعرض له الدلتا، والذي يحدث نتيجة للتغيرات التكتونية للقشرة الأرضية في المنطقة، ولارتفاع معدل ضخ المياه الجوفية، أو استخراج البترول، بالإضافة إلى توقف عمليات ترسيب الحمولة النهرية التي كان يأتي بها فيضان النيل كل عام بسبب بناء السد العالي، مما سمح بتسارع عمليات النحت الساحلية التي تقوم بها أمواج البحر على حساب ساحل الدلتا، إضافة إلى ارتفاع مستوى سطح البحر العالمي الناتج عن الارتفاع المطرد في درجات الحرارة العالمية خلال القرن الفائت.

٨-٢- بناء النموذج.

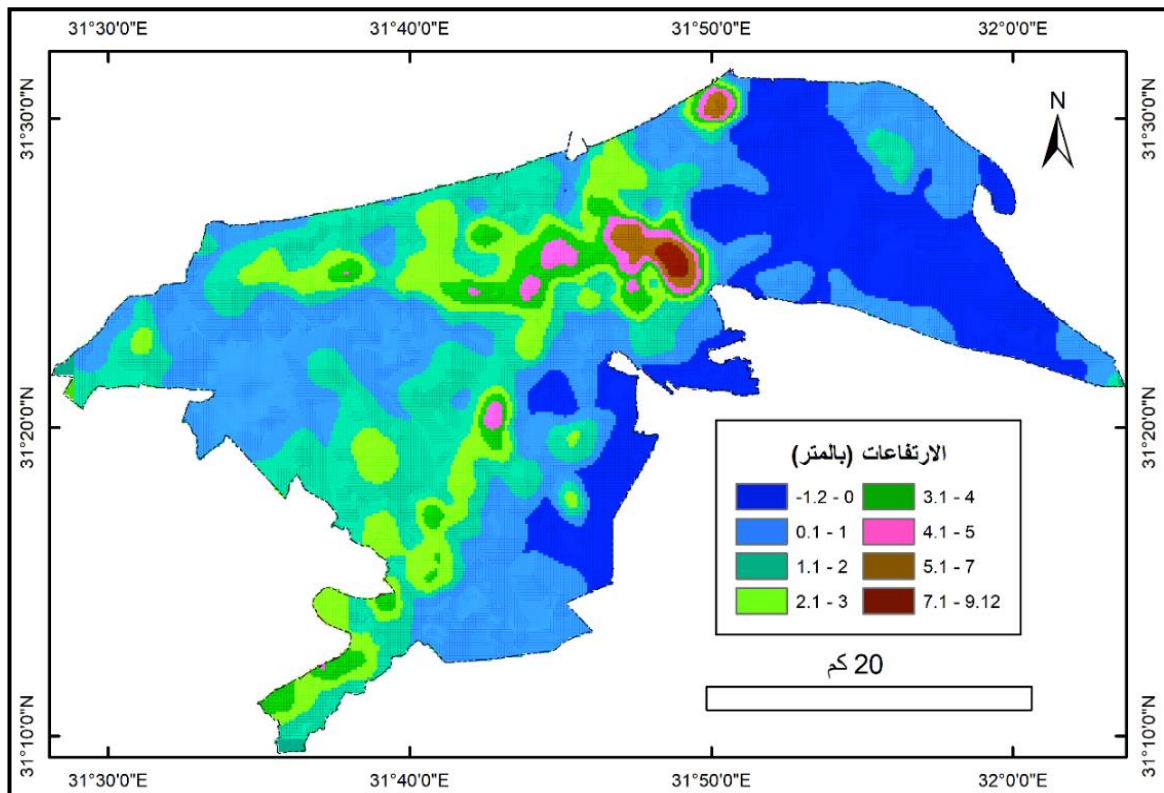
تعتمد هذه الدراسة بالأساس على النمذجة المكانية - الزمانية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، من خلال واجهة بناء النماذج Model Builder في برنامج ArcGIS 10.8.1 وذلك لتقييم الآثار المحتملة لارتفاع منسوب سطح البحر والهبوط الأرضي على محافظة دمياط، ومدى تأثير ذلك على الأصول الطبيعية والسكان وكافة المناشط البشرية؛ من شبكات الطرق، وقنوات الري، والغطاء الأرضي، واستخدامات الأرض.

٨-٢-١- المرحلة الأولى (إدخال البيانات).

تعد أهم مراحل بناء النموذج، وتحتاج إلى جهد وعمل دقيق، حتى لا تحدث أخطاء في هذه المرحلة تؤثر على مصداقية نتائج النموذج ومخرجاته فيما بعد. وتشمل هذه المرحلة عدد من المتغيرات أو المعالم الأساسية التي يتطلب إدخالها لقاعدة بيانات النموذج، مثل استيفاء نموذج الارتفاعات الرقمي DEM لمحافظة دمياط، وبيانات الهبوط الأرضي التي تم الاستقرار عليها في هذه الدراسة، وسيناريو التنبؤ المستقبلي المختار لارتفاع منسوب سطح البحر، وخريطة شبكة قنوات الري، وخريطة الكثافة السكانية، وخريطة الطرق، وخريطة الغطاء الأرضي، واستخدام الأرض في دمياط.

(المتغير الأول) نموذج الارتفاعات الرقمي DEM لمحافظة دمياط.

باستخدام بيانات الارتفاعات الرقمية المشتقة من Google earth pro لعمل نموذج ارتفاعات رقمي DEM اعتماداً على نقل ٨٣٢٩ نقطة مناسبة وحفظها في صورة ملف بصيغة KML، ثم تحويل هذا الملف إلى ملف بصيغة GPX من خلال الرابط: <https://www.gpsvisualizer.com/elevation>، ثم معالجة الملف المتحصل عليه بصيغة GPX بواسطة الأداة: spatial analysis tools, Arc toolbox, interpolation, **Kriging**.



Source: Google earth pro, 2022

شكل (٧) نموذج ارتفاعات رقمي لمحافظة دمياط.

وكانت النتيجة نموذج ارتفاعات رقمي يعكس تغطية دقيقة لارتفاع سطح الأرض في جميع أجزاء المنطقة المدروسة. فمن الشكل (٧) يظهر أن أغلب مساحة أراضي محافظة دمياط تقع ضمن أراضي السواحل منخفضة المنسوب Low-Laying coastal zone، حيث تتراوح ارتفاعات أغلب أراضيها بين ١+ : ٢+ متر فوق مستوى سطح البحر.

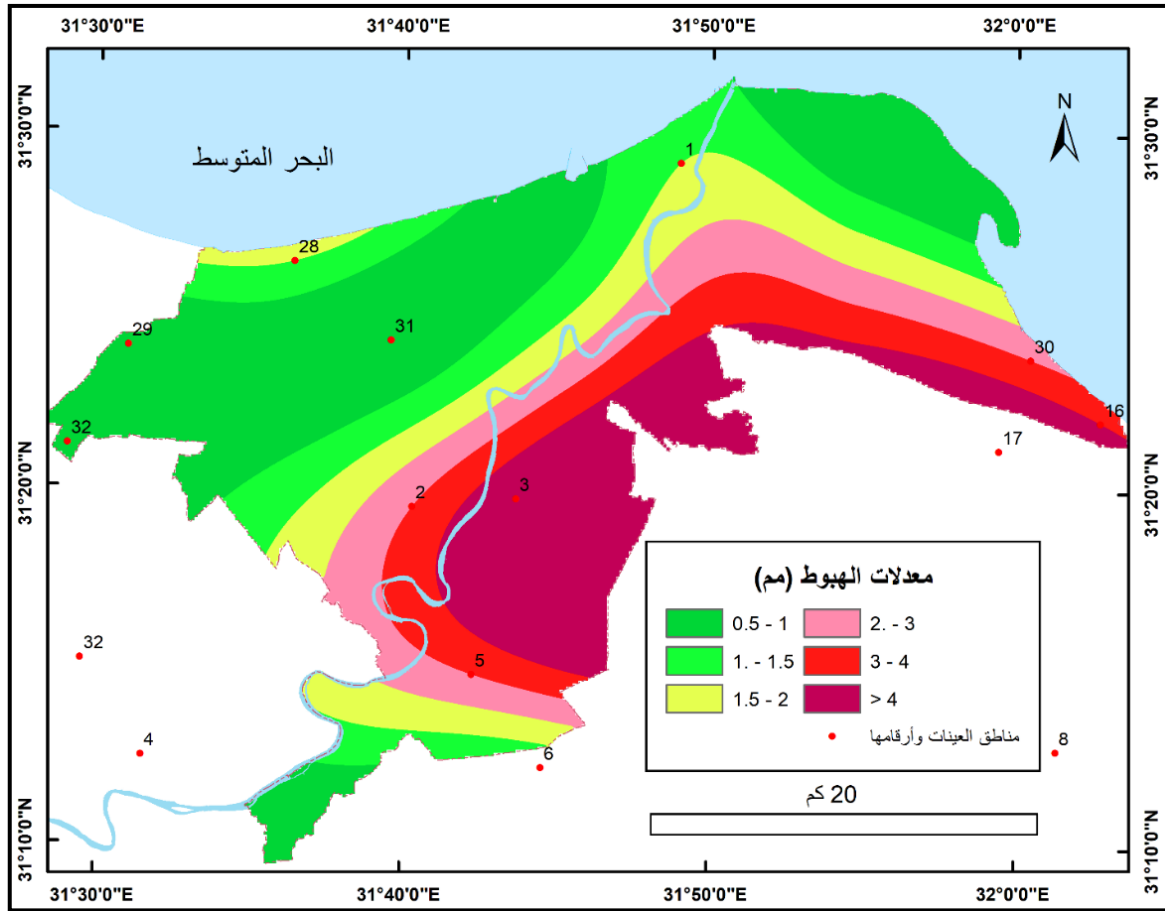
(المتغير الثاني) الهبوط الأرضي لمحافظة دمياط.

تعد مشكلة الهبوط الأرضي واحدة من المشكلات البيئية الخطيرة التي تتعرض لها سواحل دلتا النيل عموماً، حيث إن تلك المشكلة تزيد من ارتفاع مستوى سطح البحر، ويرجع حدوث الهبوط الأرضي إلى العديد من العوامل؛ أغلبها يرجع إلى التدخل البشري السلبي؛ مثل توقف إمداد الدلتا برواسب الفيضان السنوي بعد بناء السد العالي في ستينات القرن العشرين، والسحب الجائر للمياه الجوفية والنشاط التكتوني والتعرية الساحلية.

وقد رصد كل من (Stanley & Warne, 1993) عمليات الهبوط الأرضي في شمال الدلتا؛ اعتماداً على تحليلات لعينات الرواسب لعدد ٨٧ موقعاً على طول ساحل الدلتا، من أقصى الشرق إلى أقصى الغرب، باستخدام الكربون المشع خلال عصر الهولوسين، وقد وجد أن منطقة شمال شرق الدلتا (قطاع المنزلة - دمياط) قد سجل أعلى معدلات الهبوط الأرضي التي تراوحت ما بين (٠,٥ - ≤ ٤) ملليمتر/سنة، وقد اعتمدت هذه الدراسة في تقدير ارتفاع سطح البحر النسبي (المحلي) على الجمع بين تقديرات ستانلي ووارن الخاصة بالهبوط الأرضي، وسيناريوهات ارتفاع سطح البحر الخاصة بالهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ في تقريرها السادس (IPCC, 2019).

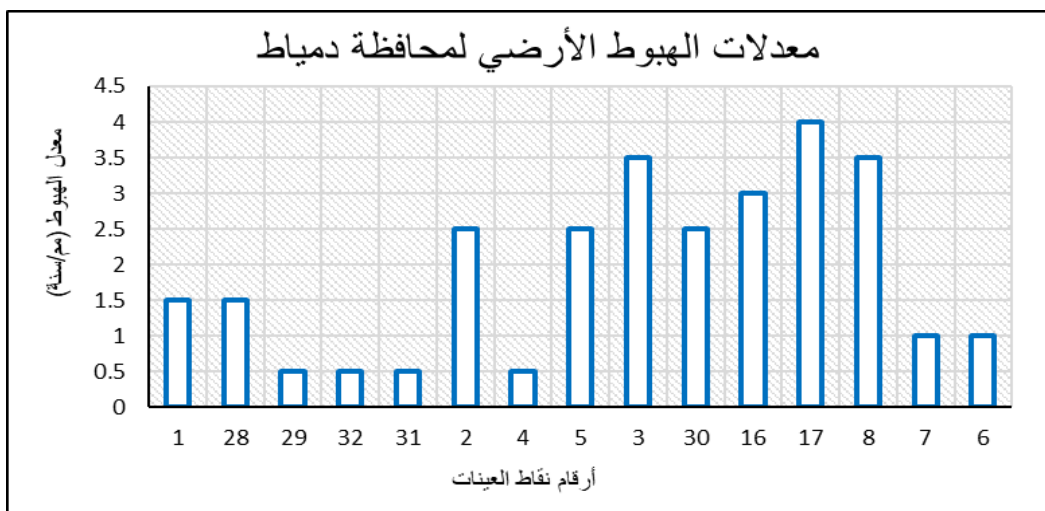
وقد أرجعت وحدة تغير المناخ التابعة لوزارة شؤون البيئة المصرية في تقريرها بشأن تغيرات المناخ في مصر وآثارها لعام ٢٠٠٨م، أن الهبوط الأرضي يحدث نتيجة للتغيرات التكتونية في القشرة الأرضية في المنطقة، وارتفاع معدلات ضخ المياه الجوفية، واستخراج البترول، وقد تم رصد التغيرات على مدى خمسة عقود، حيث بلغت معدلات الهبوط (٢ مم/عام) بالإسكندرية و (٤مم/عام) في بورسعيد (وحدة تغير المناخ، ٢٠٠٨).

تم عمل خريطة الهبوط الأرضي في محافظة دمياط المبينة بالشكل (٨) بناءً على التقديرات التي توصل إليها كل من (Stanley & Warne., 1993) والخاصة بمعدل الهبوط السنوي لدلتا النيل subsidence rate of the Nile Delta خلال عصر الهولوسين، حيث تراوحت معدلات الهبوط الأرضي كما هو واضح من قراءة الشكلين (٨) و (٩) على (منطقة دمياط) ما بين (٠,٥ : ≤ ٤,٥ ملم/سنة).



من عمل الباحث، اعتماداً على بيانات (Stanley & Warne., 1993)

شكل (٨) معدلات الهبوط الأرضي في محافظة دمياط (مم/سنة) طبقاً لستاني ووارن.



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات الشكل (٨) باستخدام برنامج Excel 365

شكل (٩) معدلات الهبوط الأرضي في محافظة دمياط (مم/سنة) طبقاً لستاني ووارن.

(المتغير الثالث) سيناريو ارتفاع مستوى سطح البحر حتى العام ٢١٠٠م.

تباينت الدراسات المهمة بارتفاع مستوى سطح البحر في اعتمادها على سيناريوهات التنبؤ المستقبلي لارتفاع مستوى سطح البحر؛ فمنها من اعتمد على بيانات مقاييس المد والجزر (Frihy et al., 2010)، ومنها من اعتمد على الإسقاطات التي قدمتها الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC في تقريرها الرابع (AR4) والخامس (AR5) بحلول نهاية القرن العشرين (Hassaan, 2013) و (درويش، ٢٠١٧)، ومنها من اعتمد على الإسقاطات التي توافقت عليها اتفاقية كوبنهاجن؛ التي اعتمدها الدول المشاركة في المؤتمر الدولي لتغير المناخ في كوبنهاجن عام ٢٠٠٩م (Frihy & El-Sayed., 2013).

وتعتمد هذه الدراسة على نمذجة مستوى سطح البحر (النسبي) R_{SLR} طبقاً لإسقاطات التقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC؛ الخاص بشأن المحيطات والغلاف الجليدي في ظل مناخ متغير (Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (SROCC))، الصادر في العام ٢٠١٩م عن ضمن تقارير تقييمها السادس AR6، حيث يتوقع أن يرتفع سطح البحر العالمي بحلول العام ٢١٠٠م ما بين ٠,٢٩ : ٠,٥٩ سم وبمتوسط ٠,٤٣ سم (السيناريو المتفائل RCP2.6)، بينما تتراوح قيم الارتفاع بالنسبة لـ (السيناريو المتشائم RCP 8.5) ما بين ٠,٦١ : ١,١٠ سم، وبمتوسط ٠,٨٤ سم (IPCC, 2019).

وتم حساب الارتفاع في مستوى سطح البحر النسبي (R_{SLR}) المتوقع في أي وقت مستقبلاً من خلال الجمع بين تنبؤات ارتفاع سطح البحر ومعدلات الهبوط الأرضي وفقاً للمعادلة التالية:

$$R_{SLR} = (G_{SLR}) + (V * T) - S$$

حيث إن: R_{SLR} ارتفاع مستوى سطح البحر النسبي (المحلي).

G_{SLR} ارتفاع مستوى سطح البحر العالمي

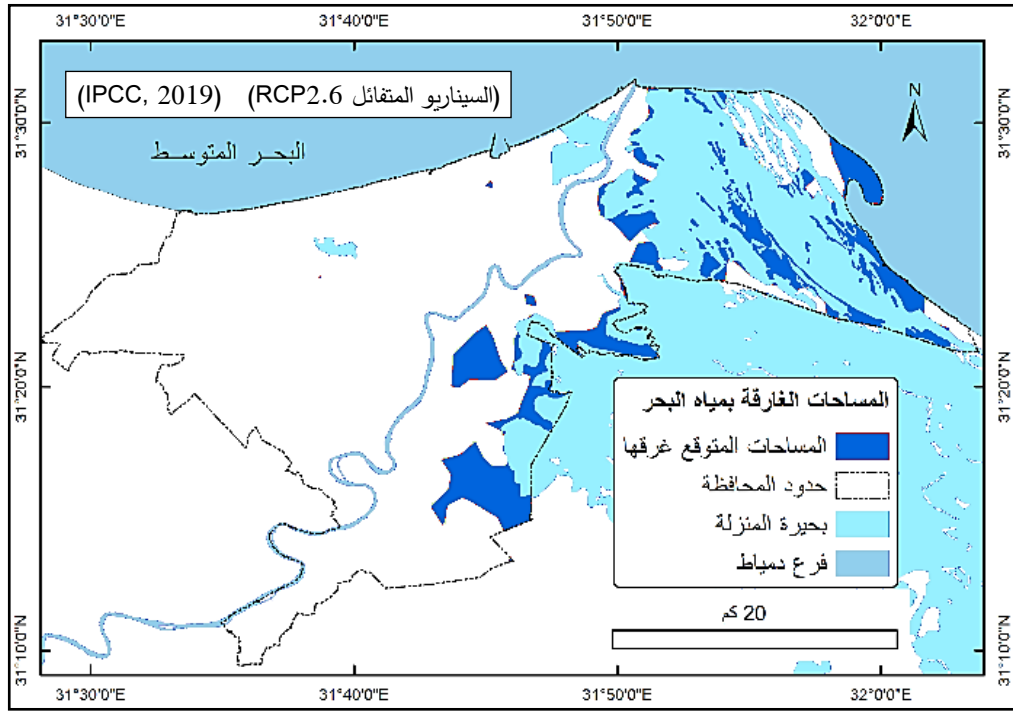
V معدل الهبوط الأرضي.

T عدد السنوات.

S التراكم الإجمالي للرواسب النهرية (M. A. Hassaan, 2013).

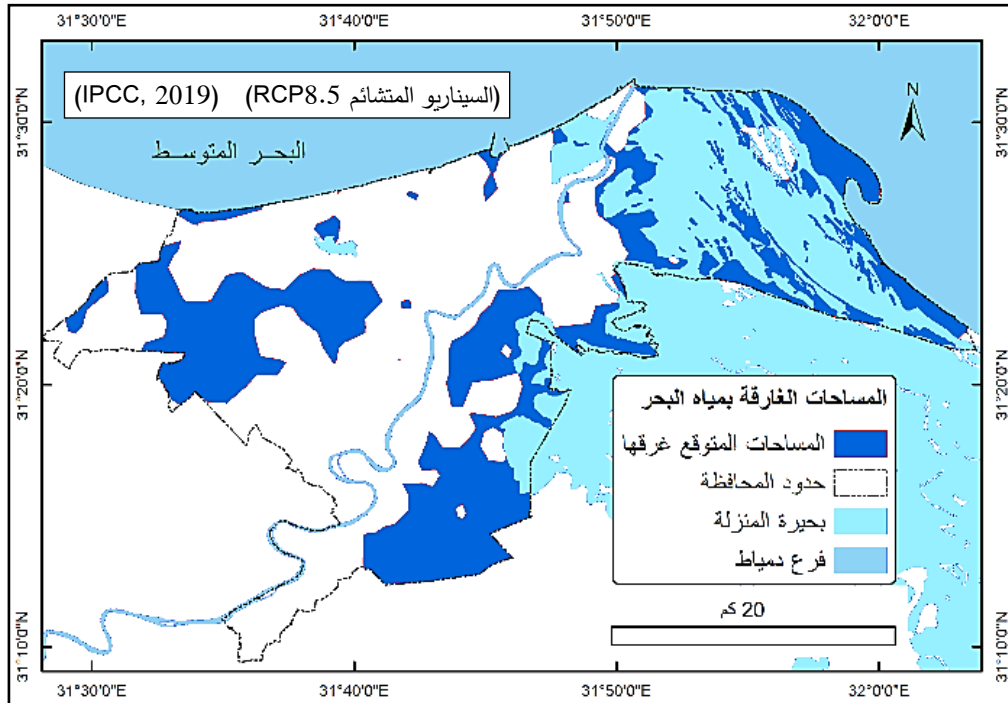
وبتطبيق هذه المعادلة، طبقاً لـ (السيناريو المتفائل RCP2.6) مضافاً إليه مقدار الهبوط الأرضي طبقاً لستانلي ووارن (١٩٩٣م)، كما يبين الشكل (١٠) فإن حوالي (٢٦٣,٣ كم^٢) سوف تتعرض للغمر والاجتياح المباشر بمياه البحر المتوسط، وهو ما يمثل (٢٥,٥٩%) من مساحة محافظة دمياط. وبتطبيق المعادلة وفقاً لـ (السيناريو المتشائم RCP8.5)، مضافاً إليه مقدار الهبوط الأرضي السنوي حتى العام ٢١٠٠م، كما يبين الشكل (١١) أن حوالي (٥٠٥,٨٥ كم^٢) بما يمثل نحو (٤٩,١٦%) من مساحة

محافظة دمياط الإجمالية سوف تتعرض للغمر والاجتياح المباشر لمياه البحر المتوسط وبحيرة المنزلة.



المصدر: من عمل الباحث، باستخدام برنامج ArcGIS 10.8.1

شكل (١٠) سيناريو RCP2.6 لارتفاع سطح البحر مضافاً إليها معدلات الهبوط الأرضي حتى العام ٢١٠٠م ، في محافظة دمياط.

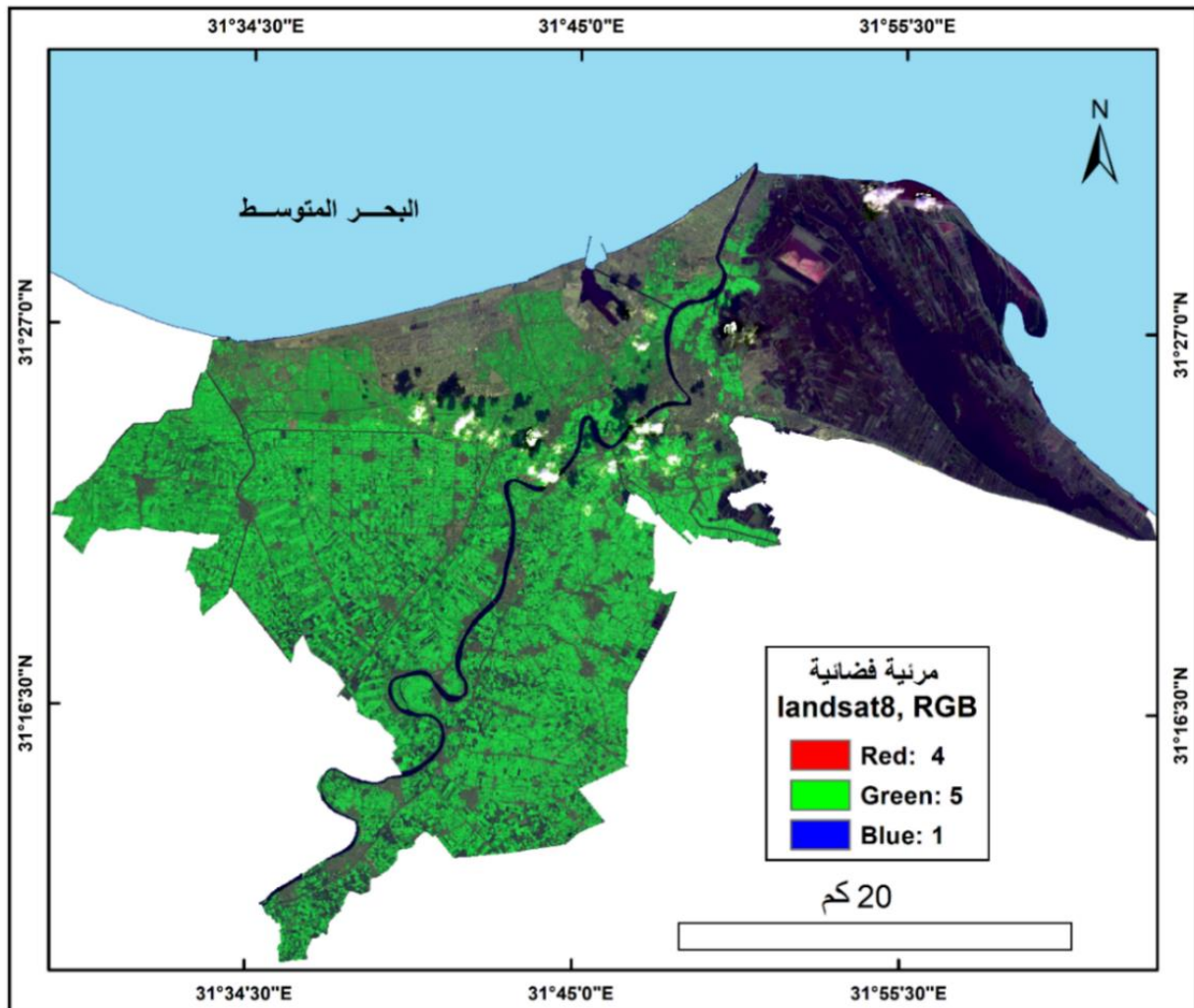


المصدر: من عمل الباحث، باستخدام برنامج ArcGIS 10.8.1

شكل (١١) سيناريو RCP8.5 لارتفاع سطح البحر مضافاً إليها معدلات الهبوط الأرضي حتى العام ٢١٠٠م ، في محافظة دمياط.

(المتغير الرابع) خريطة الغطاء الأرضي واستخدامات الأرض.

تعد دراسة الغطاء الأرضي land cover واستخدام الأرض land use ذات أهمية كبيرة في رصد التغيرات البيئية العالمية، ودراسات التنمية، ودراسة التغيرات المناخية (Kunwar et al, 2010). وقد ساعدت تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في دراسة العوامل المؤثرة في التغير في الغطاء الأرضي واستخدام الأرض؛ ومعرفة طبيعة التوزيع المكاني لكل منهما، وتحديد العلاقة بينها بطريقة أكثر دقة وأقل جهداً وتكلفة. (Hietel et al, 2004). وقد تم الاعتماد على مرئية Landsat 8 المبنية بالشكل (١٢)، ثم اقتطاع منطقة الدراسة، وإجراء تصنيف مراقب supervised classification لأنماط الغطاء الأرضي واستخدامات الأرض.

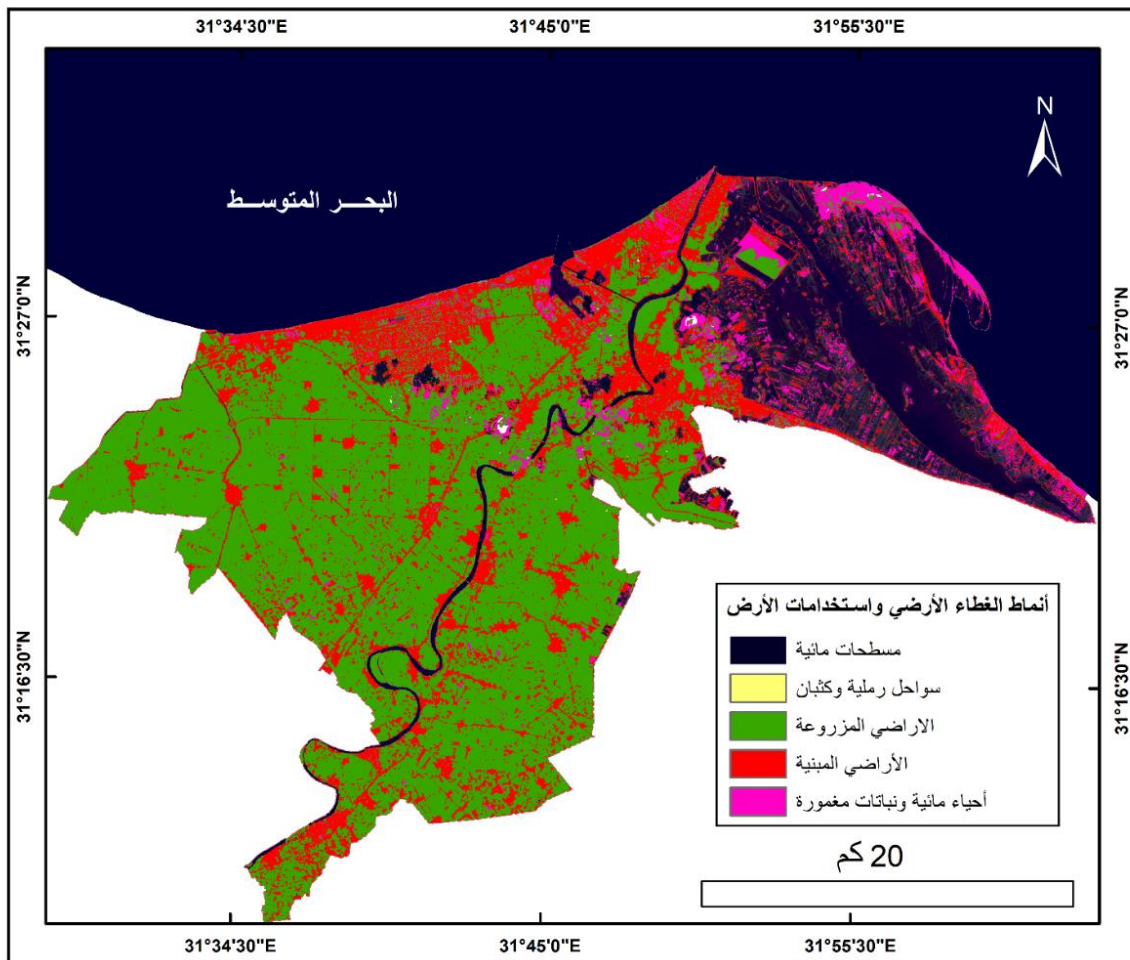


Source: Landsat8_L2SP_176038_20201025_20201106_02_T1_QA_PIXEL

شكل (١٢) جزء من مرئية فضائية متعددة النطاقات الطيفية لاندسات 8 ، لسنة ٢٠٢٠م، توضح منطقة الدراسة.

وقد تم الاسترشاد بتصنيف (FAO, 2000) والمعروف باسم Land Cover (LCCS) Classification System في اختيار فئات الغطاء الأرضي واستخدام الأرض لمحافظة دمياط، حيث لا يوجد تصنيف متفق عليه في مصر، ويعتمد التصنيف الفئات التالية:

- (١) المناطق المزروعة (وتشمل كافة أشكال الأراضي المزروعة والمدارة).
- (٢) الغطاء النباتي الأرضي الطبيعي وشبه الطبيعي.
- (٣) الأراضي الرطبة (وتشمل المستنقعات والسبخات).
- (٤) الأحياء المائية الطبيعية وشبه الطبيعية أو النباتات المغمورة بشكل منتظم.
- (٥) الأراضي المبنية والمناطق المرتبطة بها.
- (٦) المناطق العارية (تشمل الأراضي الفقيرة بالغطاء النباتي وذات التربة الرقيقة والصخرية والرملية).
- (٧) المسطحات المائية الطبيعية والاصطناعية.



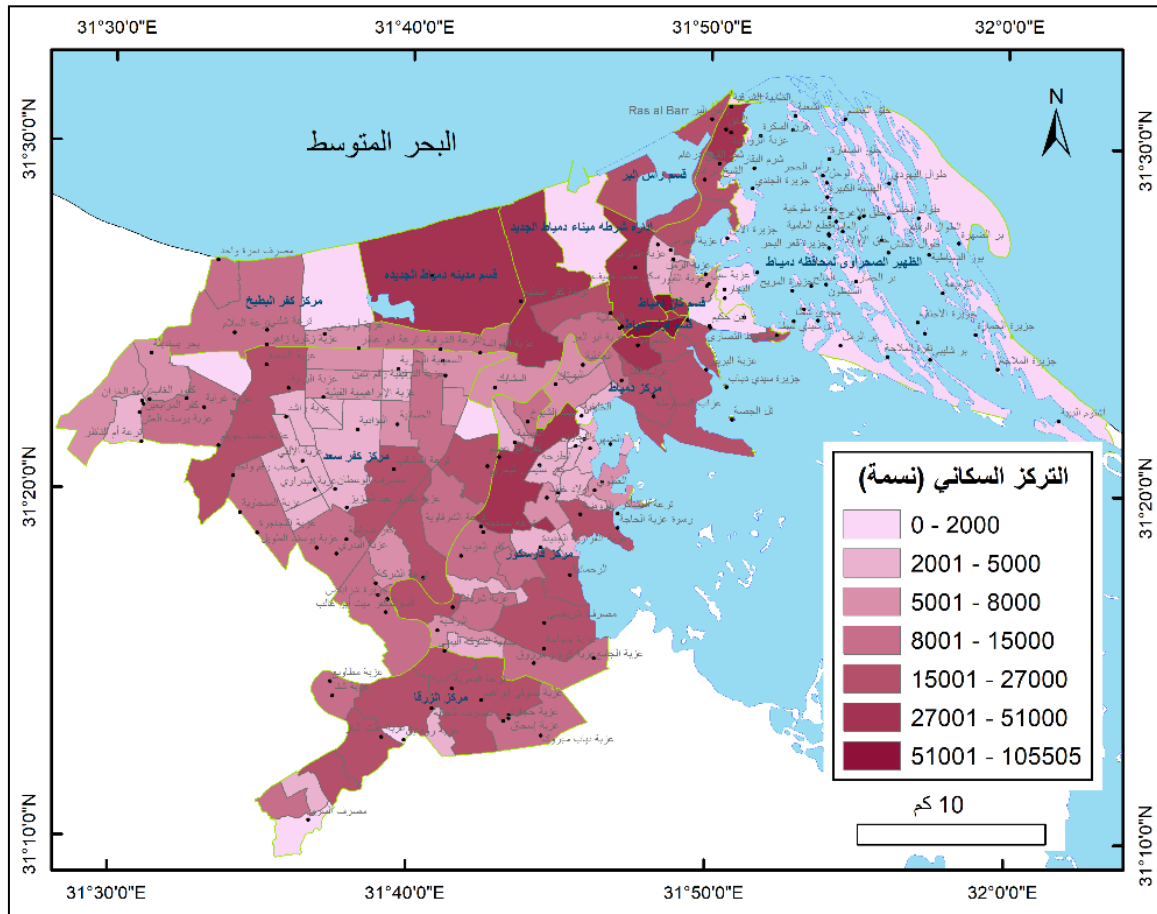
المصدر: مرئية 8 Landsat وعمل تصنيف مراقب لها باستخدام برنامج ArcGIS 10.8.1

شكل (١٣) فئات الغطاء الأرضي/ استخدام الأرض لمنطقة الدراسة عام ٢٠٢٠ م.

ويظهر من الشكل (١٣) التمييز بين فئات القطاع الأرضي، ممثلة في خمس فئات (الأراضي المزروعة المسطحات المائية السواحل الرملية كالأراضي المبنية الأحياء المائية والنباتات المغمورة)، ويلاحظ أن الاستخدام الزراعي هو الغالب علي منطقة الدراسة، يليه الاستخدام السكني، وتظهر النباتات المغمورة في أطرافها الشرقية حيث بحيرة المنزلة.

(المتغير الخامس) خريطة الكثافة السكانية لمحافظة دمياط.

تم الاعتماد على بيانات الكثافة السكانية لمحافظة دمياط، الصادرة عن الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء عام ٢٠١٧م، على مستوي النواحي والقرى بالمحافظة لإنشاء هذه الطبقة كأحد متغيرات النموذج، وذلك من أجل الوقوف على عدد السكان المتوقع تضررهم من ارتفاع مستوي سطح البحر والهبوط الأرضي بحلول العام ٢٠١٠م في محافظة دمياط، ويظهر من الشكل (١٤) أن تركيزات السكان العالية بالمحافظة توجد التجمعات العمرانية الملاصقة أو القريبة من ساحل البحر المتوسط، كما هو الحال في دمياط الجديدة ورأس البر وعزبة البرج ومدينة دمياط.



من عمل الباحث اعتمادا على بيانات الجهاز المركزي للتعبئة والإحصاء - تعداد مصر ٢٠١٧م

شكل (١٤) الكثافة السكانية في محافظة دمياط.

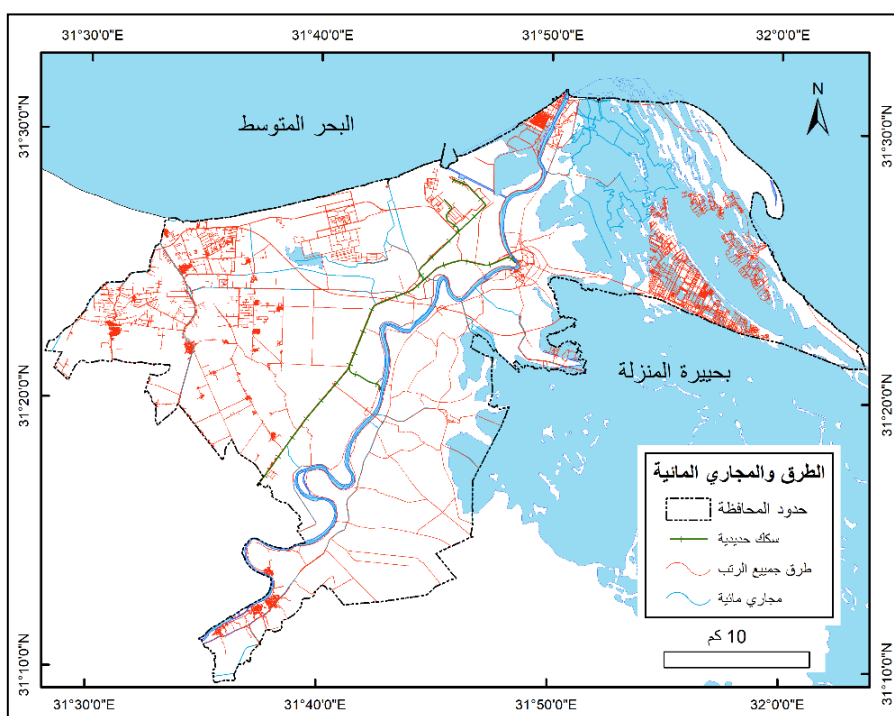
جدول (٢) سكان محافظة دمياط طبقاً لتعداد ٢٠١٧م.

عدد السكان ونسبتهم المئوية من إجمالي سكان المحافظة		مراكز المحافظة
٦٢٤٢٢٧	٤١,٧ %	دمياط
٢٥٦.٥٢	١٧,١ %	فارسكور
٣١٤٨٦٠	٢١,٠٤ %	كفر سعد
١٦٨٦٧٧	١١,٢٦ %	الزرقا
١٣٢٩٤٩	٨,٩ %	كفر البطيخ
١٤٩٦٧٦٥	١٠٠ %	إجمالي

المصدر: التعداد العام لسكان مصر، ٢٠١٧

(المتغير السادس) خريطتي شبكة الطرق وقنوات الري.

تتمثل أهمية هذين المتغيرين في أهميتهما الاستراتيجية على مختلف الأنشطة البشرية في المنطقة المدروسة، وأن الآثار السلبية لارتفاع سطح البحر والهبوط الأرضي الذي تتعرض له منطقة شمال شرق الدلتا، ستطال بالتأكيد شبكة الطرق، وشبكة قنوات الري، ومصب النيل عند رأس البر وعزبة البرج.



المصدر: لوحات أطلس مصر الطبوغرافي مقياس ١: ٥٠٠٠٠، لسنة ١٩٦٦م، باستخدام ArcGIS 10.8

شكل (١٥) شبكة الطرق وقنوات الري في محافظة دمياط.

إنتاج هاتين الطبقتين المبينتين بالشكل رقم (١٥)، وإدخالهما ضمن قاعدة بيانات النموذج، فقد تم الاعتماد في رسمهما على لوحات أطلس مصر الطبوغرافي مقياس ١: ٥٠٠٠٠٠ لسنة ١٩٦٦م باستخدام برنامج ArcGIS 10.8.1

٨-٢-٢- المرحلة الثانية (الوظائف والعمليات المكانية داخل النموذج).

تعد هذه المرحلة بمثابة الخطوة الحرجة ضمن مراحل النموذج الأربع، إذ يترتب عليها دقة تحقيق الهدف من الدراسة، وإنتاج خرائط عالية الدقة لحساب الارتفاع المحتمل لمستوي سطح البحر النسبي R_{SLR} على سواحل محافظة دمياط مضافاً إليه معدلات الهبوط الأرضي حتى العام ٢١٠٠م، وتأثير ذلك على مختلف الأصول الطبيعية والمناشط البشرية مثل الطرق، وقنوات الري، والعمران. وتنفذ هذه المرحلة من خلال الاعتماد على تقنيات نظم المعلومات الجغرافية؛ باستخدام برنامج ArcMap وأدوات التحليل Arc Toolbox ضمن حزمة برامج ArcGIS 10.8.1، حيث تتخذ عدد من الإجراءات التي يتم تنفيذها على البيانات المعدة في المرحلة الأولى، ويتم استدعاؤها والتعامل معها بواسطة واجهة بناء النماذج Model Builder وتستكمل هذه المرحلة من خلال الخطوات التالية:

❖ للحصول على خريطة قيم الهبوط الأرضي في محافظة دمياط عند العام ٢١٠٠م، يتم الضرب الجبري لطبقة الهبوط الأرضي (مم/سنة) × عدد السنوات من الوقت الحاضر حتى العام ٢١٠٠م (٧٨ عام)، وتم التنفيذ من خلال برنامج ArcMap بواسطة الأداة Function Math Trigonometric ثم الأمر Times، وإخراجها كما بالشكل (٨).

❖ بناء نموذج ارتفاع رقمي لمحافظة دمياط اعتماداً على Google earth pro, 2022، وإخراجها كما بالشكل (٧).

❖ إضافة قيم السيناريو المختار (إسقاطات التقرير السادس AR6 للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ لسنة ٢٠١٩م) (+) إلى طبقة الهبوط الأرضي عند العام ٢١٠٠م وذلك للحصول على طبقة ارتفاع مستوى سطح البحر النسبي R_{SLR} عند العام ٢١٠٠م، طبقاً للمعادلة التالية: $R_{SLR} = (G_{SLR}) + (V * T)$

وتم التنفيذ باستخدام الأمر PLUS (+) من أوامر Toolbox Arc Trigonometric Math Function (Hassaan,2013)

❖ طرح طبقة ارتفاع مستوى سطح البحر النسبي عند ٢١٠٠م (-) من طبقة نموذج الارتفاع الرقمي DEM للسيناريوهين المختارين (AR6) وذلك لتحديد وفصل المناطق المعرضة لخطر ارتفاع مستوى سطح البحر عند كل سيناريو عام ٢١٠٠م. تم التنفيذ باستخدام الأمر Less Than من أوامر Trigonometric Math.

وكانت النتيجة الحصول على (طبقة) تحوي قيمتين: الأولى (١) تمثل الأراضي تحت مستوى سطح البحر، والثانية (صفر) تمثل الأراضي فوق مستوى سطح البحر حتى العام ٢١٠٠ م، طبقاً للسيناريوهين كما هو مبين بالشكلين (١٠) و(١١).

❖ إدخال خرائط التأثير Impacts Maps وهي: خريطة استخدام الأرض، خريطة الكثافة السكانية على مستوى القرى والنواحي، وخريطة قنوات الري، وخريطة الطرق، وذلك للطرح الجبري من النطاقات المعرضة للخطر في السيناريوهين المختارين كما هو مبين بالشكلين (١٧)، (١٨). وتم التنفيذ باستخدام الأمر Intersect ضمن أدوات Arc Toolbox Overlay Tools.

٨-٢-٣- المرحلة الثالثة (فحص صلاحية النموذج).

فحص صلاحية جميع العمليات داخل النموذج من خلال تشغيل فاحص الصلاحية، للوقوف على الدقة ومدى جاهزية جميع المتغيرات للتطبيق وإنتاج النموذج.

٨-٢-٤- المرحلة الرابعة (تحليل النتائج واقتراح سبل التكيف).

٨-٢-٤-١ - تحليل النتائج.

يظهر من تطبيق النموذج أن العديد من الظواهر الطبيعية والمناشط البشرية ستتأثر سلباً من ارتفاع سطح البحر النسبي RSLR؛ ما لم تتخذ الاحتياطات اللازمة، وسبل المواجهة والتكيف والتخفيف لحماية سواحل محافظة دمياط.

نتائج السيناريو الأول:

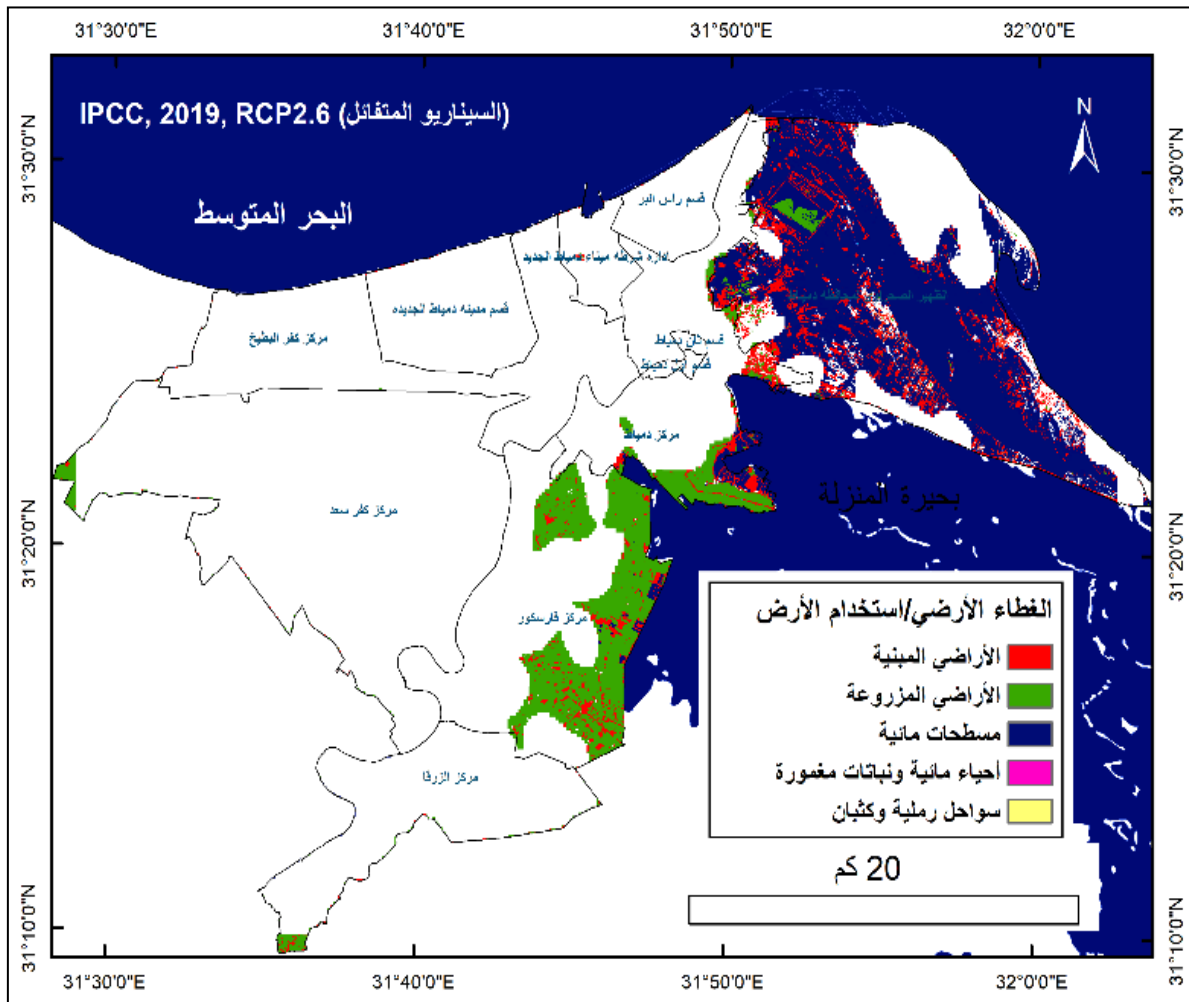
(السيناريو المتفائل RCP2.6) طبقاً لـ. (IPCC, 2019)

فقد توصلت الدراسة من خلال النموذج المتبع إلى أن التأثير المتوقع لارتفاع سطح البحر النسبي بحلول العام ٢١٠٠ م طبقاً (السيناريو المتفائل RCP2.6) الذي نشرته الهيئة الحكومية الدولية لتغير المناخ IPCC في العام ٢٠١٩ م مضافاً إليه مقدار الهبوط الأرضي طبقاً لستانلي ووارن، أن حوالي (٢٦٣,٣ كم^٢) سوف تتعرض للغمر والاجتياح المباشر بمياه البحر، وهو ما يمثل نحو (٢٥,٥٩%) من مساحة دمياط الإجمالية.

وعلى مستوى مراكز محافظة دمياط؛ كما في الشكل (١٦) فكل من مراكز كفر سعد، والزرقا، وكفر البطيخ ستكون بمنأى عن تغول مياه البحر المتوسط أو الغمر المباشر لأراضيها، وخاصة مدينة دمياط الجديدة ومحطة توليد الكهرباء الواقعتين على الساحل مباشرة، إلا أن ذلك لن يمنعنا من القول بأن مستوى الماء الجوفي سيرتفع وعمليات النشع وتداخل مياه البحر وزيادة ملوحة التربة ستتزايد وتيرتها.

أما مركز فارسكور فإن نحو (٣٢%) من مساحته الكلية ستعرض للغمر المباشر، وتمتد أجزاؤه المتوقع

غرقها بمحاذاة حدوده الغربية من شماله إلى جنوبه؛ حيث تجاور هذه الأجزاء بحيرة المنزلة مثل جزيرة الحملة وكفر العطوي وترعة المشاكر ورسوة عزبة الحاجة ومصرف شرباص وعزبة الجامع. أما مركز دمياط فإن أجزاء صغيرة جداً على حدوده الغربية ستتعرض للغمر المباشر؛ كما هو الحال في تل الحصاة والأطراف الشرقية من جزيرة سيدي دياب وشط الشيخ درغام والأطراف الشرقية من الطابية الشرقية. أما مدينة دمياط؛ فلن تطالها مياه البحر المتوسط، وذلك لأن مدينة دمياط خططت على ربوة يبلغ ارتفاعها نحو ثلاثة أمتار، ومعزولة عن البحر المتوسط من الغرب بحزام من الكثبان الرملية لا يخترقه سوى نهر النيل، كما أنها معزولة من ناحية الشرق عن بحيرة المنزلة بنطاق من الأراضي الزراعية التي يزيد ارتفاعها عن ٢ متر عن سطح البحر المتوسط، لذلك تبدو المدينة محمية من الغرق، إلا أنها في نفس الوقت تبدو محاصرة بالمياه من الشرق والجنوب.



المصدر: من عمل الباحث، اعتماداً على ArcGIS 10.8.1

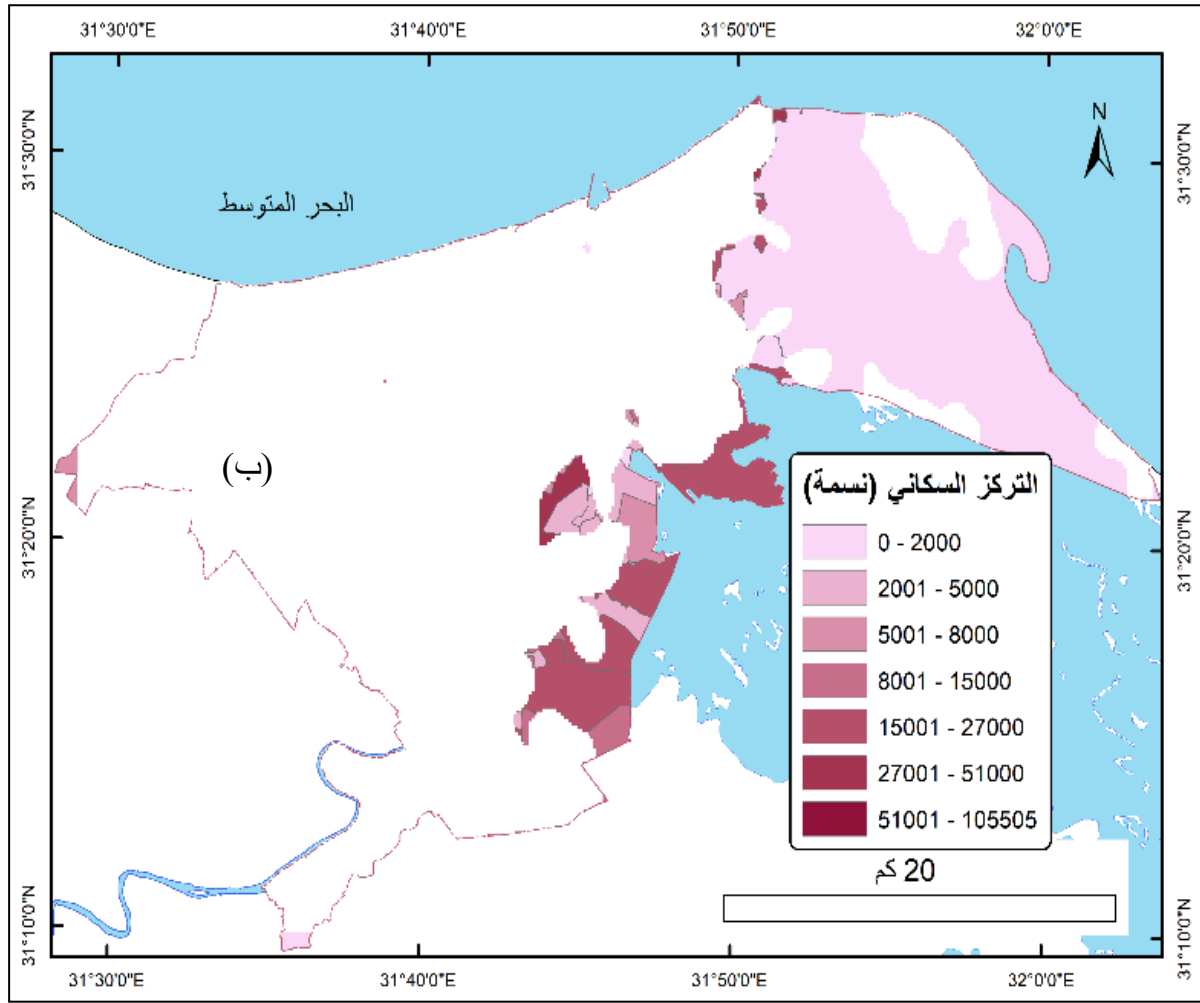
شكل (١٦) الغطاءات الأرضية المعرضة للغرق بسبب ارتفاع سطح البحر عام ٢١٠٠ م، والهبوط الأرضي في دمياط عند حدوث السيناريو المتقائل (RCP2.6)

أما منطقة رأس البر، فإن الكتلة السكنية للمدينة لن تتعرض للغرق، حيث شيدت عند مناسب تصل إلى أربعة أمتار فوق مستوى سطح البحر الحالي، إلا أن المدينة سوف تعاني الحصار المائي من جميع الاتجاهات في حالة ارتفاع منسوب البحر، كما أن الأجزاء الجنوبية الغربية من المدينة لا يتجاوز منسوبها ١,٥ متر، مما يجعلها مهددة بالغرق حال ارتفاع منسوب سطح البحر أمامها، وبالتالي انعزال المدينة من الشمال والشمال الغربي بمياه البحر المتوسط، ومن الجنوب والجنوب الشرقي بمياه نهر النيل. أما عن بحيرة المنزلة؛ والتي تعد أبرز الظواهر الجغرافية الطبيعية في شمال شرق الدلتا، فمن ملاحظة الشكل (١٦) نجد أنها لا يفصلها عند البحر المتوسط سوى مصاطب شواطئ قديمة، أو سلاسل من الكثبان الرملية المتباينة من حيث عرضها ومنسوبها، ويتخلل هذه الكثبان الرملية ثغرات ومنخفضات مغمورة، تمثل برك فرعية للبحيرة الرئيسية، وتتصل بها عبر قنوات وممرات عرضية، ويعد الجزء الغربي من هذه الكثبان في شمال شرق الدلتا من أخطر الأجزاء على طول خط ساحل بحيرة المنزلة، حيث لا يفصل البحر عن البحيرة سوى حزام متهاك من الكثبان الرملية المنقطعة لا يتجاوز ارتفاعها ٢ متراً، وبالتالي لن تقوى على الصمود إذا ما ارتفع مستوى سطح البحر أمامها. كما أنه في حال ارتفاع مستوى سطح البحر المتوسط، فإن مساحات واسعة من الأراضي الجافة الواقعة إلى الشرق والجنوب والغرب من بحيرة المنزلة ستعرض للاجتياح الكامل بفعل مياه البحيرة نفسها أو بفعل المياه المتسربة خلال طبقات التربة. كما ستعرض كثير من الجزر داخل البحيرة للاجتياح المباشر بفعل ارتفاع منسوب الماء في البحيرة، مثل الشعبة وحلق الصفارة وجزيرة الجندي وجزيرة قعر البحر وبر الحمار وظهر الزقاليط وملاحة السلسول والتربية وجزيرة الملاحة وغيرها.

جدول (٣) توزيع السكان المهددين بخطر الغمر المباشر لمساكنهم وأراضيهم نتيجة ارتفاع سطح البحر على مراكز محافظة دمياط حتى عام ٢٠١٠م.

AR6, IPCC) & الهبوط الأرضي				مراكز محافظة دمياط
السيناريو المتشائم RCP8.5		السيناريو المتفائل RCP2.6		
%	السكان (نسمة)	%	السكان (نسمة)	
٣,٦	٢٢٤٥٣	٣,٢	١٩٨٤١	دمياط
٣٤,٢	٨٧٦٤١	٢٥,٢	٦٤٠١٣	فارسكور
٢٣,٥	٧٤١٣٥	٠,٠	صفر	كفر سعد
٢١,٢٦	٣٥٨٦٦	٠,٠	صفر	الزرقا
٠,٦٣	٨٤٢	٠,٠	صفر	كفر البطيخ
١٤,٧٦	٢٢٠٩٣٧	٥,٦	٨٣٨٥٤	الإجمالي ونسبته من سكان المحافظة

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على الشكل (١٧) باستخدام برنامج ArcGIS 10.8.1

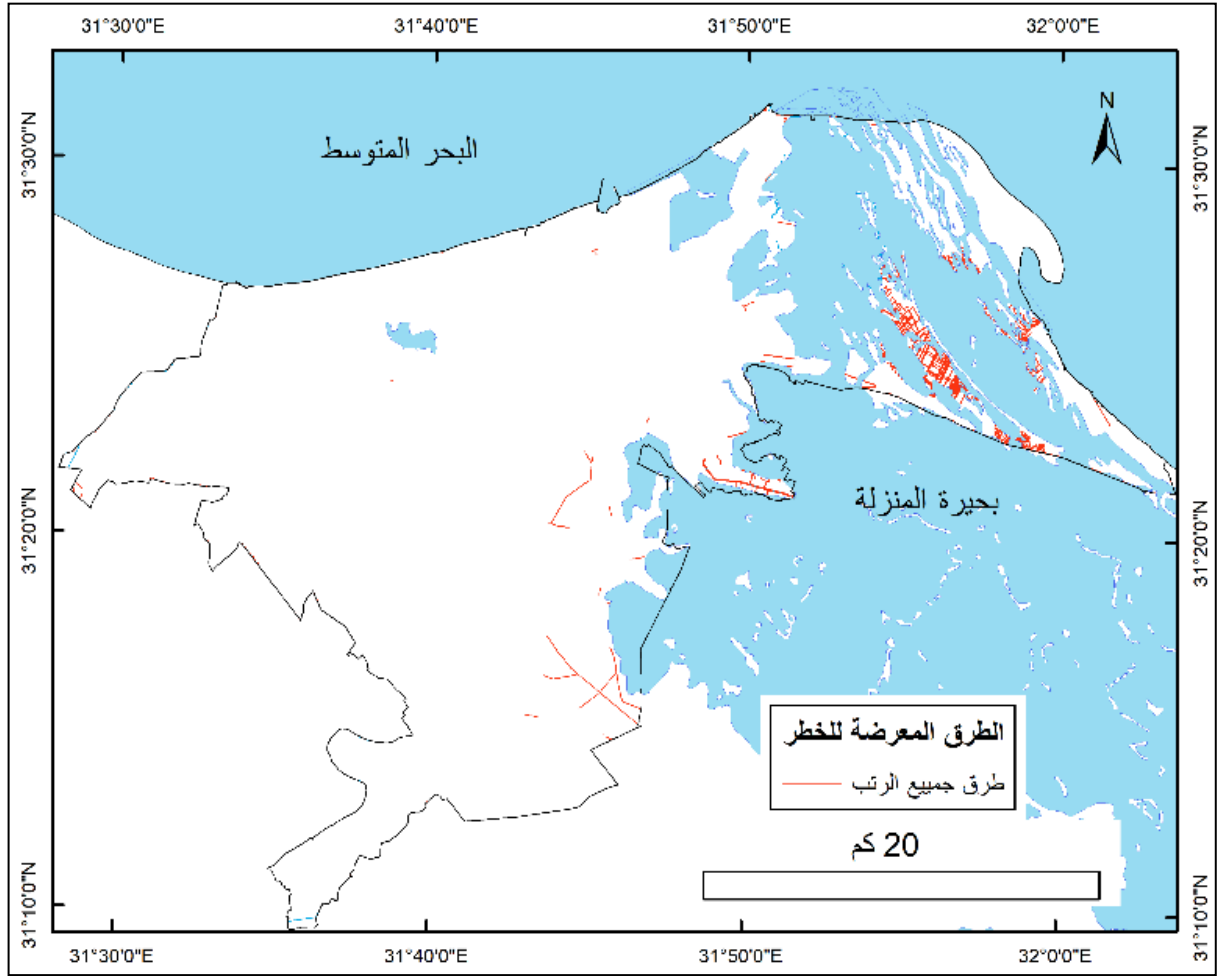


المصدر: من عمل الباحث، اعتماداً على ArcGIS 10.8.1

شكل (١٧) أعداد السكان المعرضين لفقد أراضيهم بسبب ارتفاع سطح البحر عام ٢١٠٠ م، والهبوط الأرضي في دمياط عند حدوث السيناريو المتقائل (RCP2.6)

أما عن أعداد السكان الذين يتوقع أن يفقدوا مساكنهم، أو أراضيهم، أو أنشطتهم الاقتصادية، مما سيضطّهم للهجرة القسرية البيئية وفقاً لهذا السيناريو، فمن الجدول (٣) الشكل رقم (١٧) يتبين أن مركز فارسكور يأتي في مقدمة مراكز المحافظة المتأثرة سلبياً، حيث سيفقد نحو ٦٤٠١٣ نسمة، بحلول العام ٢١٠٠ م، بما يمثل نحو ٢٥% من سكانه، أما معدلات الهجرة القسرية في مركز دمياط طبقاً لهذا السيناريو، فهي ضئيلة للغاية (٣,٢%)، لصغر مساحة الأراضي المتأثرة بالغمر وهامشيتها في هذا المركز.

أما عن إجمالي أطوال الطرق التي يحتمل تعرضها للغرق طبقاً لهذا السيناريو، فيتبين من الشكل (١٨)، فمن المتوقع أنها ستبلغ نحو (٢٣) كيلو متر طولي في مركز فارسكور، ونحو (١٥) كيلو متر طولي في مركز دمياط، ناهيك عن الطرق الترابية والمدقات التي ستعرض للغمر المباشر.

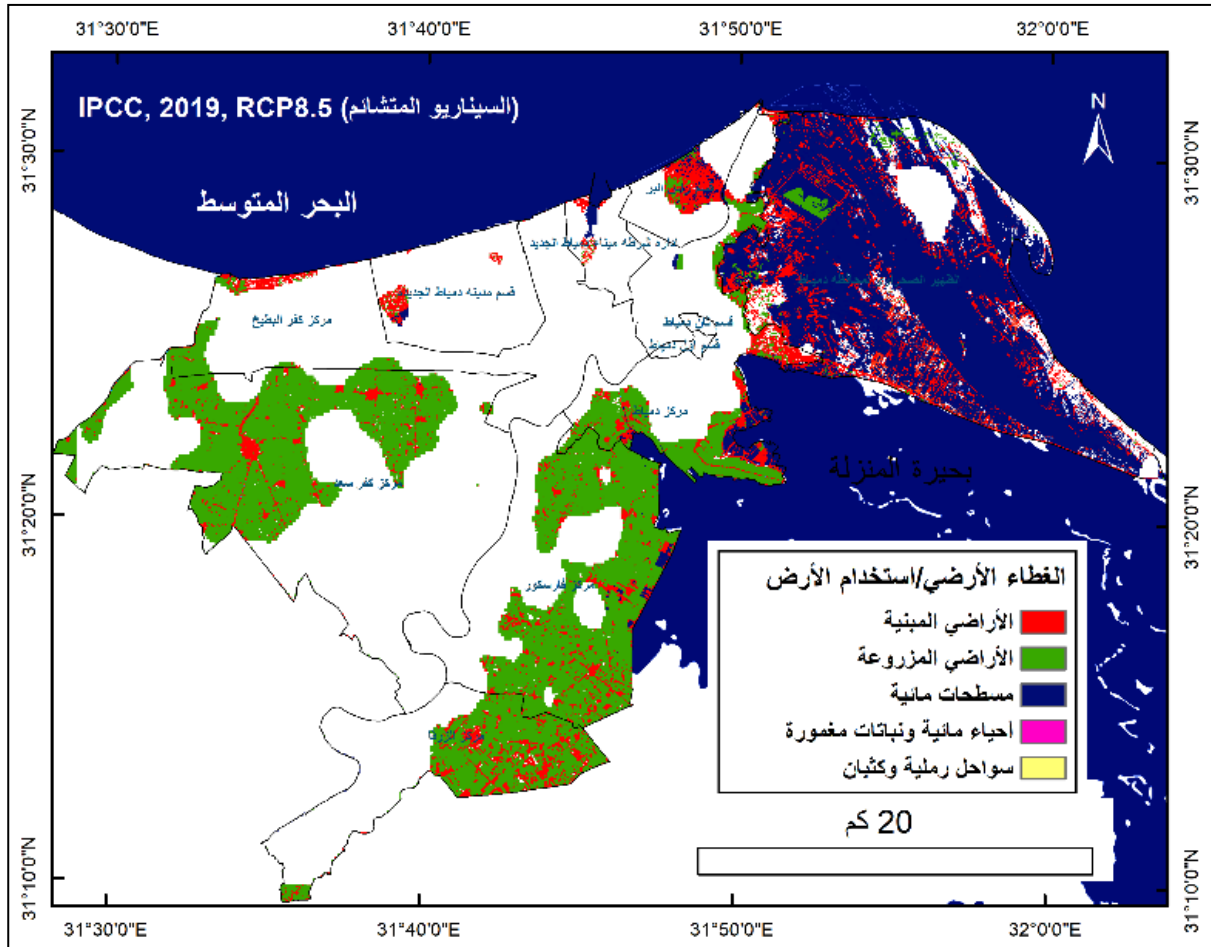


المصدر: من عمل الباحث، اعتماداً على ArcGIS 10.8.1

شكل (١٨) الطرق المعرضة للغرق (كم) بسبب ارتفاع سطح البحر عام ٢١٠٠ م، والهبوط الأرضي في دمياط عند حدوث السيناريو المتقائل (RCP2.6)

نتائج السيناريو الثاني: (السيناريو المتشائم RCP8.5) طبقاً لـ. (IPCC, 2019)

فقد توصلت الدراسة من خلال النموذج إلى أن التأثير المتوقع لارتفاع سطح البحر النسبي بحلول العام ٢١٠٠ م طبقاً (السيناريو المتشائم RCP8.5) الذي نشرته الهيئة الحكومية الدولية لتغير المناخ IPCC في العام ٢٠١٩ م، مضافاً إليه مجموع معدلات الهبوط الأرضي السنوي حتي العام ٢١٠٠ م، أن حوالي (٥٠٥,٨٥ كم^٢) بما يمثل نحو (٤٩,١٦%) من مساحة محافظة دمياط الإجمالية سوف تتعرض للغمر والاجتياح المباشر لمياه البحر المتوسط وبحيرة المنزلة، كما أن (٢٢٠٩٣٧) نسمة من سكان المحافظة سيهددهم الغرق سواء لأراضيهم أو مساكنهم، مما سيجبرهم على الهجرة القسرية، أضف إلي ذلك الآثار التتابعية لارتفاع سطح البحر؛ مثل زيادة الملوحة وتزايد وتيرة التعرية الساحلية وتداخل مياه البحر.



المصدر: من عمل الباحث، اعتماداً على ArcGIS 10.8.1

شكل (١٩) الغطاءات الأرضية المعرضة للغرق بسبب ارتفاع سطح البحر عام ٢١٠٠ م، والهبوط الأرضي في دمياط عند حدوث السيناريو المتشائم (RCP8.5)

وعلى مستوى مراكز محافظة دمياط؛ كما في الشكل (١٩) والجدول رقم (٣)، فقد وجد أن مراكز المحافظة الخمس يتهددها خطر الفيضان وتداخل مياه البحر وارتفاع معدل ملوحة التربة الزراعية، حيث تتمثل المساحات المتوقع غمرها بمياه البحر على مستوي المراكز (٢ كم^٢ ٢٧٥,٦) بما يمثل نحو (٧٣%) من مساحة مركز دمياط مضافاً إليه ظهير المحافظة ببجيرة المنزلة الذي ستغمر جزره وطوالاته كلياً بمياه البحر، و (٢ كم^٢ ٩٥,٩) بما يمثل نحو (٦٤,٣%) من مساحة مركز فارسكور، و (٢ كم^٢ ٧٩,٢) بما يمثل نحو (٣٢,٤%) من مساحة مركز كفر سعد، و (٢ كم^٢ ٣١,٧) بما يمثل نحو (٣٦,٩%) من مساحة مركز الزرقا، و (٢ كم^٢ ٧,٢) بما يمثل نحو (٤,٣٣%) من مساحة كفر البطيخ.

ومن الشكل (١٩)، فقد وجد أن نحو (٤٠,٤ كم) من الطرق بكل رتبها؛ سيغمرها ماء البحر في مركز دمياط مضافاً إليه ظهير المحافظة ببجيرة المنزلة، وإن نحو (٤٢,١ كم) من الطرق بكل رتبها سيغمرها

ماء البحر مركز فارسكور، ونحو (٥٣,٩ كم) في مركز كفر سعد، و (٢١,١ كم) في مركز الزرقا، و (١٢,٢ كم) في مركز كفر البطيخ.

أما عن أعداد السكان الذين يتوقع أن يضطروا للهجرة القسرية البيئية، بسبب غمر البحر لأراضيهم أو مساكنهم أو أنشطتهم الاقتصادية وفقاً لهذا السيناريو، فمن الشكل (٢٠) نجد أن مركز فارسكور يأتي في مقدمة مراكز المحافظة حيث سيفقد نحو ٨٧٦٤١ نسمة بما يمثل نحو ٣٤,٢% من سكانه، يليه مركز كفر سعد، حيث يتوقع أن يضطر نحو ٧٤١٣٥ نسمة للزوح قسرياً، بما يمثل نحو ٢٣,٥% من سكانه، ويحل مركز الزرقا ثالثاً، حيث سيفقد نحو ٣٥٨٦٦ نسمة أراضيهم، بما يمثل نحو ٢١,٢٦% من سكانه، أما معدلات الهجرة القسرية في مركزي دمياط وكفر البطيخ طبقاً لهذا السيناريو، فيتوقع أن تكون ضئيلة لصغر مساحة الأراضي المتأثرة بالغمر وهامشيتها في هذين المركزين.

ويأتي مركز فارسكور كأبرز مراكز المحافظة ت أثراً إذا ما حدث هذا السيناريو، حيث سيفقد نحو ٦٤,٣% من مساحته، وتمتد هذه المناطق في شكل شريطي شرق المركز من الشمال إلى الجنوب، ابتداء من النجارين وجزيرة الحملة وكفر العطوي في شمال المركز، إلى عزبة الجامع وعزبة كرم النجار وعزبة حجابة، أما الأجزاء المحاذية لفرع دمياط، فهي في منأى من الغرق وإن كانت ستتأثر بشكل غير مباشر بفعل زيادة وتيرة التسرب والتلح. وقد تتجو بعض المناطق الزراعية في مركز فارسكور من خطر الاجتياح المباشر للبحر، إلا أنها ستكون قابلة للغمر الجزئي أو الكلي في حال تسرب مياه البحر المتوسط المالحة خلال التربة تحت السطحية، أو من خلال رفع منسوب المياه الجوفية المالحة، فيما يعرف بتداخل مياه البحر كأثر تنابعي لزيادة مستوي سطح البحر المحلي.

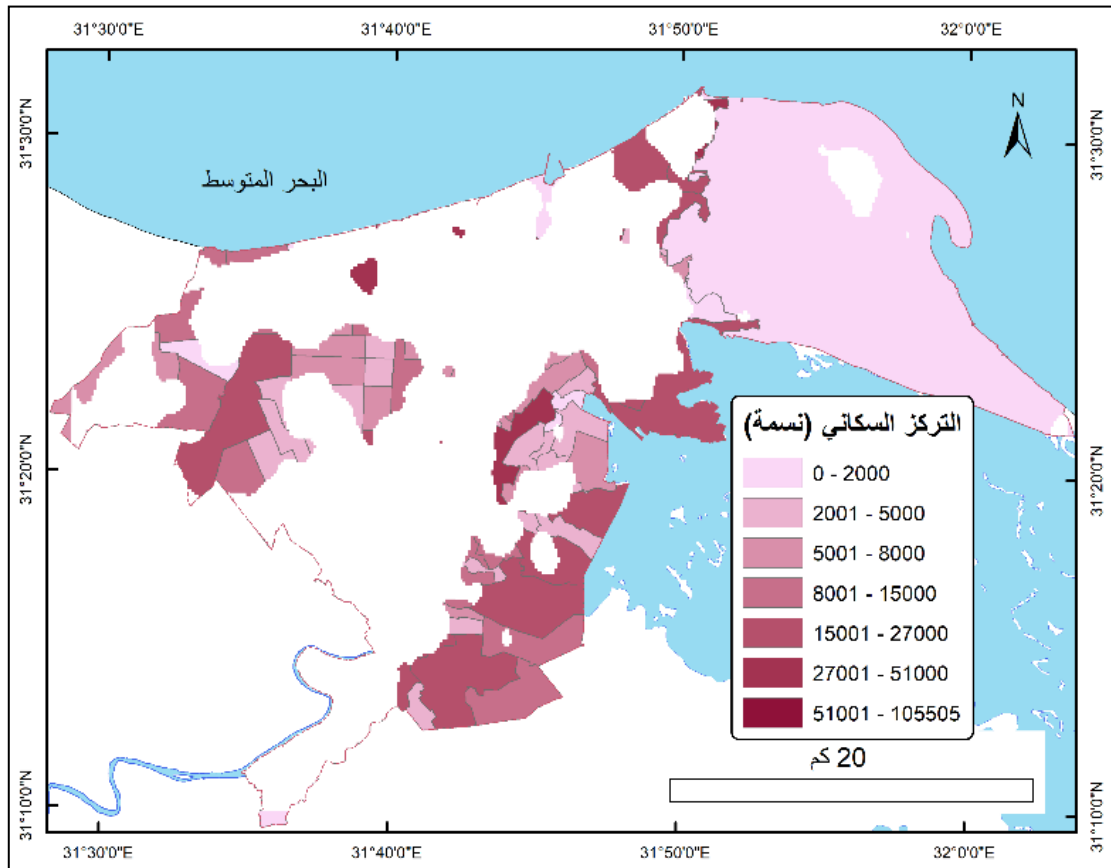
أما مركز كفر سعد، فيتوقع أن يفقد نحو ٣٢,٤% من إجمالي مساحته، وتتركز المساحات الغارقة منه في غربه بعيداً عن مجري فرع دمياط ومنها كفور الغاب وعزب غرابة ومحمد سويلم والألفي والبوابة والسعدية البحرية والحسانية، أما مدينة فارسكور والروضة فستكونان في مأمن من الغرق المباشر، ويلاحظ أن غالبية المساحات المتوقع غرقها ذات استخدام زراعي، مما سيكون له نتائج سلبية على الإنتاج الزراعي في المركز.

أما مركز دمياط، فإن مدينة دمياط - عاصمة المحافظة - بأقسامها (أول وثان) وتوابعها مثل الشعراء والسنانية وغيط النصرى وبن حكيم وعزبة أبو العز، فستكون جميعاً في منأى عن الغرق، ويتوقع أن يفقد المركز مضافاً إليه ظهير المحافظة على بحيرة المنزلة نحو ٧٣% من المساحة الإجمالية للإثنين معاً طبقاً لهذا السيناريو، وتقع المساحات المتوقع غرقها في شرق المركز، حيث الهوامش الغربية لبحيرة المنزلة، كما هو الحال في عزب البصارطة والقش وتل الجصة وجزيرة سيدي دياب بالإضافة إلى الهوامش الشرقية لعزبة البرج والأطراف الجنوبية والجنوبية الغربية لميناء دمياط. أما ظهير المحافظة في بحيرة المنزلة فيتوقع أن يعرض للغمر البحري بالكامل؛ وفي ذلك خسارة كبيرة لقطاع الصيد حيث تنتشر

المزارع السمكية، كما ستتعرض جميع الجزر والطوال داخل البحيرة للغرق، مثل بر الحمار والتربية وطوال الحنش وشرم البقار وحلق الصفارة وقرن السكره وبر الرمل وجزيرة الأحنف. أما مدينة رأس البر وخاصة الكتلة القديمة من المدينة فستكون بمنأى عن الغرق للأسباب التي ذكرناها في استعراض السيناريو الأول.

أما مركز الزرقا، فإن مدينة الزرقا - عاصمة المركز - والواقعة على فرع دمياط فيتوقع أنها ستكون بمنأى عن الغرق، وأن نحو ٣٦,٩% من جملة مساحة المركز ستتعرض للغمر المباشر، متمثلاً في أجزائه الغربية القريبة من بحيرة المنزلة، حيث تضم عزبة دياب مبروك وحجازي وعزبة السنباطي وعزبة دسوقي إبراهيم ومصرف السيالة.

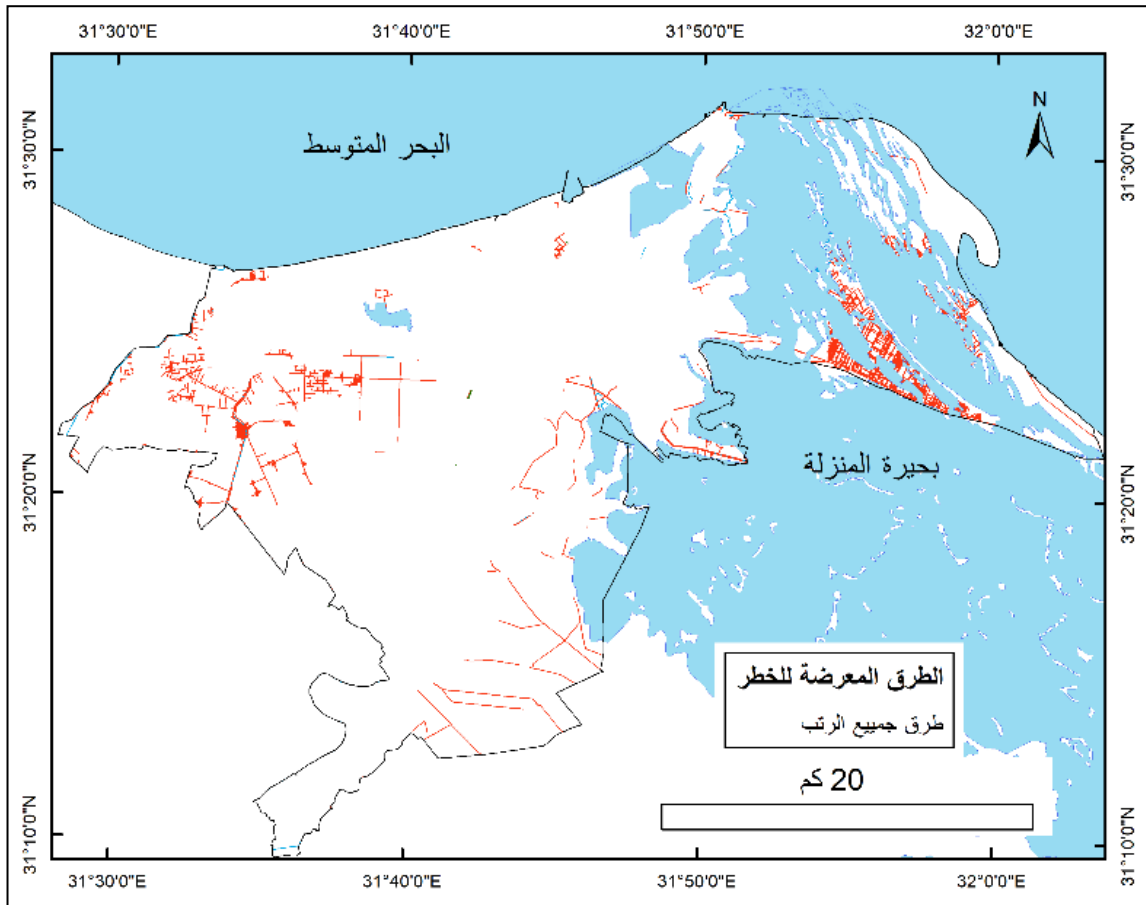
ومن المحتمل أن تتعرض أجزاء كبيرة من منطقة ميناء دمياط للتهديد المباشر، إذا ما حدثت السيناريوهات المختارة، وخاصة الأجزاء الغربية والجنوبية الغربية من الميناء والتي تمثل أراضي منخفضة يقل منسوبها الحالي عن الصفر، كما أنها تتصل بالميناء اتصالاً مباشراً، أما الأراضي الواقعة شرق الميناء فهي في مأمن نسبياً لحمايتها بالكتبان الرملية التي يزيد ارتفاعها عن ٢ متر.



المصدر: من عمل الباحث، اعتماداً على ArcGIS 10.8.1

شكل (٢٠) أعداد السكان المعرضين لفقد أراضيهم بسبب ارتفاع سطح البحر عام ٢١٠٠ م، والهبوط الأرضي في دمياط عند حدوث السيناريو المتشائم (RCP8.5)

أما مركز كفر البطيخ والذي تتبعه مدينة دمياط الجديدة إدارياً، فيعد أقل المراكز تأثراً بتوقعات هذا السيناريو ٧,٢ كم ٢، حيث إن الغالبية العظمى من مساحته ستكون بمنأى من الغمر المباشر بمياه البحر المتوسط، بما في ذلك مدينة دمياط الجديدة، اللهم إلا الأطراف الغربية الوسطى منها (أجزاء من الحي الخامس والسادس بمدينة دمياط الجديدة) للأسباب السابق ذكرها. وتعد المنطقة الساحلية المنحصرة بين جمصة غرباً إلى دمياط الجديدة شرقاً، محمية نسبياً بسبب ارتفاع الكثبان الرملية فيها لأكثر من ١ متر، إلا أنها يحتمل تعرضها للغمر الجزئي حال ارتفاع منسوب البحر المتوسط متراً واحداً كأثر تنابعي لارتفاع منسوب البحر المتوسط، أما المنطقة الساحلية التي خطت وأقيمت عليها مدينة دمياط الجديدة، فهي محمية بسلسلة من الكثبان الرقيقة التي يزيد ارتفاعها عن ٢ متر على الأقل من ناحية الشمال، تعمل كحائط صد طبيعي للمدينة من ناحية البحر إذا ما ارتفع منسوب مياهه، كما تعد المنطقة السكنية للمدينة في مأمن حال ارتفاع منسوب البحر المتوسط متراً واحداً عن منسوبه الحالي، حيث أقيمت مبانيها على ارتفاع يتراوح ما بين ٢ : ٣ أمتار.



المصدر: من عمل الباحث، اعتماداً على ArcGIS 10.8.1

شكل (٢١) الطرق المعرضة للغرق (كم) بسبب ارتفاع سطح البحر عام ٢١٠٠ م،
والهبوط الأرضي في دمياط عند حدوث السيناريو المتشائم (RCP8.5)

وجدير بالذكر أن هذه الدراسة تسير في نفس السياق الذي تسير فيه الدراسات السابقة، وتعد دراسة (G. Sestini, 1993) من أوائل الدراسات التي قدمت تحليلات متنوعة لتقييم آثار التغيرات المناخية على دلتا النيل، حيث قدم خلال دراسته عدداً من السيناريوهات لارتفاع مستوى سطح البحر وتأثيراتها السلبية المتوقعة، وقد خلص إلى أن نسبة كبيرة من الأطراف الشمالية للدلتا عرضة للغرق بالمياه المالحة وخاصة شمال شرق الدلتا، بالإضافة إلى تشبع التربة بالمياه المالحة، وبالتالي عدم صلاحيتها لممارسة النشاط الزراعي، مما يدفع الملايين من السكان لترك منازلهم وأراضيهم.

كذلك دراسة قام بها برنامج الأمم المتحدة للبيئة UNEP لبيان مدى تأثير ارتفاع مستوى سطح البحر (المتوقع) الناجم عن تغير المناخ على السواحل المصرية، وتحديد المناطق الأكثر احتمالاً لخطر الغرق في حالة ارتفاع سطح البحر المتوسط بمقدار (٥٠ سنتيمتر)، وقد توقعت الدراسة بأن ارتفاع نصف متر في سطح البحر، سوف يؤدي إلى غرق مساحة كبيرة من الأراضي الساحلية لدلتا النيل إذا لم تتخذ الاحتياطات اللازمة للحماية من قبل الدولة، وأن أكثر المناطق تأثراً بارتفاع منسوب سطح البحر، هي مناطق محافظتي الاسكندرية والبحيرة وجنوب البرلس وجنوب المنزلة ودمياط وسهل الطينة وبورسعيد (UNEP, 2009).

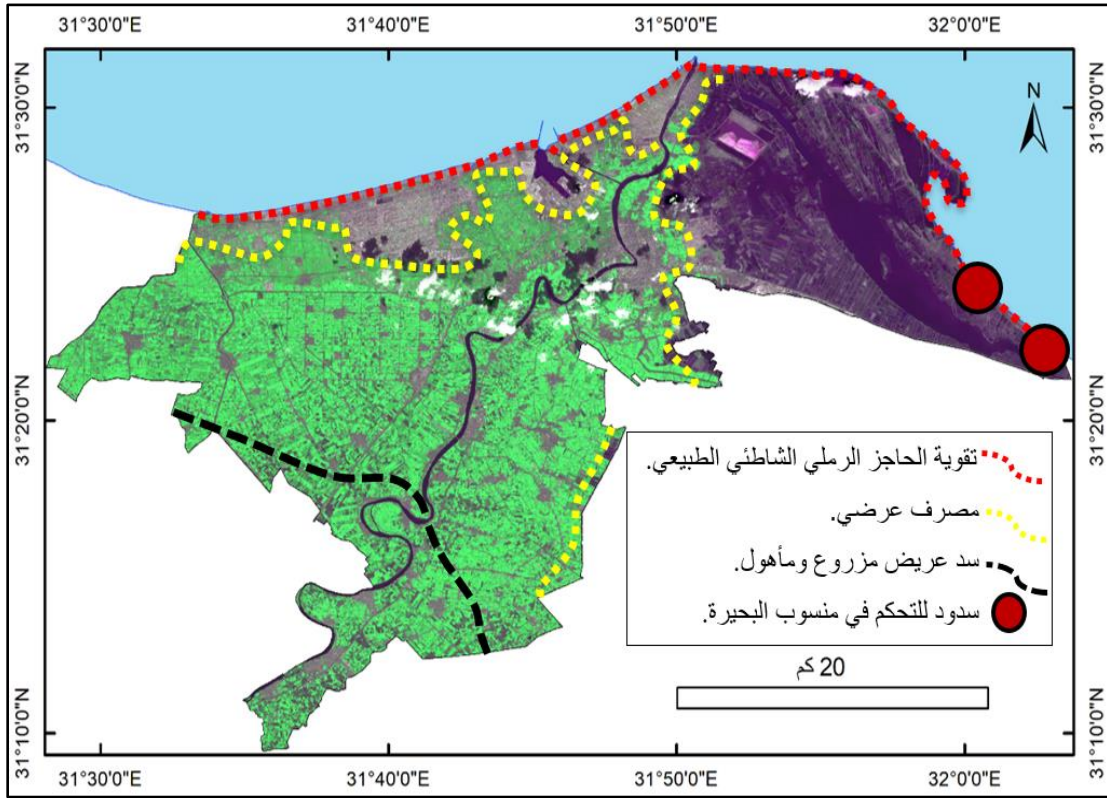
٨-٢-٤-٢ - سبل التكيف والتخفيف والمواجهة.

على الرغم من أن الباحث ليس من دعاة التهويل من الآثار الناجمة عن ارتفاع سطح البحر، إلا أننا يجب ألا نتجاهل تلك الظاهرة بالكلية، أو ننكر وجودها من الأساس، وعليه فإن الأمانة العلمية تقتضي إحداث مزيد من الزخم العلمي حول هذه الفرضية ومخاطرها المستقبلية المحتملة؛ إذا ما ارتفع منسوب سطح البحر أمام السواحل المصرية وخصوصاً سواحل الدلتا، ليكون ذلك أمام متخذي القرار من أجل وضع خطط متكاملة للحماية والتكيف، وصون حياة ومعاش أعداد كبيرة من البشر، بل وتحويل هذا الخطر إلى فرص للتنمية.

هناك العديد من الطرق الهندسية والتخطيطية القادرة على الحماية، بل وتحويل التهديد إلى فرصة للتنمية، ومن هذه الطرق ما يلي:

(١) تقوم الملامح العامة للتكيف وسبل المواجهة على الفكرة المقترحة التي تضمنها الشكل (٢٢) لبناء مشروع متكامل لحماية ساحل دمياط.

فالخط الأحمر يشير إلى تقوية وحماية الحاجز الرملي الشاطئي على امتداد ساحل محافظة دمياط ورفع مستواه، ووضع خطط عاجلة لتقوية النقاط الضعيفة على سواحل المحافظة وخاصة غرب بوغاز أشتوم الجميل بمحافظة بورسعيد، ومنطقة شرق مدينة دمياط الجديدة، وغرب مدينة جمصة بمحافظة الدقهلية.



المصدر: من عمل الباحث.

شكل (٢٢) مقترح للتكيف والتخفيف والمواجهة.

الخط الأحمر: تقوية الحاجز الرملي الشاطئي الطبيعي.

الخط الأصفر: مصرف عرضي موازي للساحل لتجميع المياه المالحة المتسربة خلف الحاجز الرملي، وارجاعها للبحر بطلمبات رفع أو طواحين الهواء.

الخط الأسود: يمثل سد عريض جداً مزروع ومأهول خلف بحيرة المنزلة.

الدوائر: بوابات وسدود للتحكم في منسوب البحيرة المنزلة في مناطق البواغيز.

أما الخط الأصفر، فيمثل مصرف عرضي موازي للساحل لتجميع المياه المالحة المتسربة خلف الحاجز الرملي، ويعد الخطوة الثانية لبناء مشروع متكامل لحماية ساحل دمياط بل يمكن تعميمه لحماية ساحل الدلتا كله، حيث يتم حفر مصرف عرضي إلى الجنوب من الحاجز الرملي بالتخطيط الوارد بالشكل (٢٢)، حيث تتجمع في مياه البحر المتوسط المتسربة خلف الحاجز الرملي وتصريفها إلى البحر مرة أخرى، ومن المتوقع أن تكون المياه المتسربة شبيهة بنوعية مياه البحر بدرجة كبيرة استناداً لقرب موقع المصرف من خط ساحل البحر المتوسط أو بحيرة المنزلة، ويتم تصريف المياه المتسربة عن طريق طلمبات ضخ عملاقة، موزعة على طول المصرف بشكل مناسب، ويمكن استغلال هذا المصرف العرضي العملاق في عمل مزارع سمكية.

أما الخطوة الثالثة، فتتمثل في بناء سد عريض مزروع ومأهول بارتفاع يتراوح بين متر إلى مترين، يمتد خلف المصرف وبحيرة المنزلة، وقد تم تحديده باللون الأسود بالشكل (٢٢) ويتم بناؤه من ناتج التربة الناتجة عن حفر المصرف بالخطوة الثانية، ويتم استغلال هذا السد في كافة أنماط الاستغلال البشري وفي مقدمتها الزراعة والسكن.

وتمثل الدوائر البنية اللون الموجودة بالشكل بوابات وسدود للتحكم في منسوب البحيرات الشمالية في مداخل البواغيز، ويمكن من خلالها إدخال مياه البحر المتوسط والتحكم في كمياتها.

(٢) رفع مستوى المناطق المتوقع تعرضها للغرق، وتصل تكلفة ردم الفدان بحوالي ١٩٠ ألف جنيه بأسعار ٢٠٢٠م، ويمكن استخدام رمال من قاع بحيرة المنزلة واستخدامها في الردم أو استخدام رمال من قاع البحر نفسه واستخدامها في الردم، كما يمكن الردم بالمخلفات البلدية ومخلفات البناء مع استعادة التربة السطحية الخصبة على السطح.

(٣) وضع برنامج زمني لحماية كافة القرى الواقعة تحت منسوب سطح البحر بالمحافظة.

(٤) العمل على تقوية جسر فرع دمياط وخاصة المنطقة من مدينة دمياط حتى المصب بنهاية عزبة البرج ومدينة رأس البر.

(٥) تقوية ورفع كفاءة وتجديد الحواجز البحرية المنفصلة بمحاذاة ساحل رأس البر والحواجز العمودية بمنطقة شرق دمياط لحماية الطريق الساحلي الذي يصل دمياط ببورسعيد.

(٦) ردم الشواطئ وخاصة في النقاط الضعيفة على سواحل المحافظة وخاصة غرب بوغاز أشتوم الجميل الجديد، وشرق مدينة دمياط الجديدة، أو ما يعرف بالتغذية الصناعية الدورية للشواطئ لحمايتها من النحر والارتفاع المتوقع لسطح البحر.

٩ - التوصيات:

- تنفيذ استراتيجية مصر الوطنية للتكيف مع تغير المناخ والحد من أخطار الكوارث.
- دمج خطط واستراتيجيات التكيف مع تغير المناخ وارتفاع سطح البحر العالمي في خطط التنمية الوطنية.
- تعزيز أعمال الحماية القائمة التي تعمل بشكل أساسي على التخفيف من تعرية الشواطئ، والعمل على صيانتها وتقويتها دورياً.
- وضع خطة طويلة المدى للتنمية الساحلية لسواحل دمياط، مع مراعاة التكيف مع تأثيرات ارتفاع سطح البحر وتقييم الآثار البيئية الناجمة.
- تقديم التدابير المناسبة للتخفيف من تغلغل مياه البحر نحو تربة المناطق المزروعة بالمحافظة.
- تعزيز دور المؤسسات ومراكز الأبحاث المختصة برصد وتقييم آثار التغير المناخي ودراسات السواحل.
- الاستعانة ببيوت الخبرة الهولندية في التكيف والمواجهة، على اعتبار أن هولندا لها تجربة رائدة في هذا المجال، يستشهد بها عالمياً.
- نشر الوعي بقضية التغير المناخي وتبعاتها، من خلال تضمينها في مقررات التعليم الأساسي والجامعي.

١٠ - المراجع والمصادر

أولاً: المراجع العربية.

- (١) الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، (٢٠١٧)، لتعداد العام للسكان والإسكان لمحافظة دمياط.
- (٢) الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، (٢٠٢٠)، تقديرات التعداد العام للسكان والإسكان.
- (٣) العجمي، ضاري ناصر & مصطفى، عبد المنعم، (٢٠٠٤)، التغيرات المناخية بين الشك واليقين، معهد الكويت للأبحاث العلمية، الكويت.
- (٤) أبو راضي، فتحي عبد العزيز، (١٩٨٨)، ديناميات التعرية الشاطئية والتغيرات المعاصرة لساحل دلتا النيل، مجلة كلية الآداب - جامعة طنطا، العدد الخامس.
- (٥) التقرير الثاني للمنتدى العربي للبيئة والتنمية (أفد)، (٢٠٠٩)، التقرير السنوي، بيروت، لبنان.
- (٦) حمدان، جمال، (١٩٨٤)، شخصية مصر: دراسة في عبقرية المكان، الجزء الثاني، دار الهلال، القاهرة.
- (٧) خرفان، سعد الدين، (٢٠٠٠)، تغير المناخ ومستقبل الطاقة المشاكل والحلول، دمشق، سوريا.
- (٨) درويش، كمال سروجي، (٢٠١٧)، استخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) في نمذجة، وتقييم، وتحليل تغير مستوى سطح البحر، وتراجع الشواطئ، وأخطار التعرية الساحلية على ساحل دلتا، رسالة دكتوراه غير منشورة - قسم الجغرافيا - كلية الآداب - جامعة المنيا - مصر.
- (٩) صندوق المناخ الأخضر (GCF)، (٢٠١٧)، مشروع تعزيز التكيف مع تغير المناخ في الساحل الشمالي ودلتا النيل في مصر، اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن التغير المناخي، كوريا الجنوبية.
- (١٠) صدقي، هشام داود، (٢٠١٢)، أثر المناخ على التصحر في شرق وغرب الدلتا المصرية - باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب، جامعة المنصورة، مصر.
- (١١) طلبة، مصطفى كمال & صعب، نجيب، (٢٠٠٩)، أثر تغير المناخ على البلدان العربية - النتائج والاستنتاجات الرئيسية، المنشورات التقنية ومجلة البيئة والتنمية، بيروت، لبنان
- (١٢) عماشة، صلاح معروف، (١٩٩٤)، التربة وتأثيرها على بعض أنماط الاستغلال البشري في محافظة دمياط، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الآداب جامعة الزقايق.
- (١٣) عودة، خالد عبد القادر، (٢٠١٠)، أطلس مخاطر التغيرات المناخية على السواحل المصرية والسياسات الدفاعية الواجبة، جامعة أسيوط، أسيوط، مصر.

- (١٤) محمود، إيمان محمد، (٢٠١٧)، دراسة مقارنة للأخطار الهيدروجيوميورفولوجية بمنطقة دمياط ورشيد باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، رسالة دكتوراة غير منشورة، كلية الآداب، جامعة بنها.
- (١٥) نعمت الله، أسماء الشرباصي، (٢٠١٥)، العجز المائي وأثره على الخريطة الزراعية بمحافظة دمياط، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الآداب، جامعة المنصورة.
- (١٦) وزارة الدولة لشئون البيئة، (٢٠٠٨)، مصر والتغيرات المناخية، وحدة التغيرات المناخية، القاهرة.

ثانياً: المراجع الأجنبية.

- (1) Amal, S H., (2010). Egypt: Second National Communication, P 93-99.
- (2) Becker, R.H., & Sultan, M., (2009). Land subsidence in the Nile Delta: inferences from radar interferometry. *The Holocene*, 19, 949 - 954.
- (3) Church, J., Gregory, J.M., (2001). Changes in sea-level. In: Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguera, M., Vander Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C.A. (Eds.), *Climate Change 2001: the Scientific Basis. Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- (4) Christopher B. F., (2010). at the annual meeting of the Association for the Advancement of Science.
- (5) **Climate, Intergovernmental Panel on. Climate Change., (2014)**. Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report Volume 1, Global and Sectorial Aspects. Cambridge University Press.
- (6) Dawod, G. M., Mohamed, H. F., (2008), Estimation of Sea Level Rise Hazardous Impacts in Egypt within a GIS Environment. The 3rd National GIS Symposium in Saudi Arabia, Al-Khobar, KSA, 7-9 April 2008, 1-14.
- (7) Douglas, B.C., (2001). Sea-level change in the era of the recording tide Gauge. In: Douglas, B.C., Kearney, M.S., Leatherman, S.P. (Eds.), *Sea-Level Rise: History and Consequence*. Academic Press, San Diego, pp. 37–61.
- (8) El-Raey, M., (1997), "Vulnerability Assessment of the Coastal Zone of the Nile Delta of Egypt, to the Impacts of Sea Level Rise." *Ocean & Coastal Management*, vol. 37, no. 1, pp. 29–40., doi:10.1016/s0964-5691(97) 0005.
- (9) El-Raey, M., Nasr, S., El-Hattab, M., Frihy, O. E., (1995). Change detection of Rosetta promontory over the last forty years *Int. J. Rem. Sens.*, 16, pp. 825–834.
- (10) El-Raey, M, Nasr, S, Frihy, O. E, Desouki, S. Dewidar, K., (1995). Potential impacts of accelerated sea-level rise on Alexandria Governorate, Egypt', *J. Coastal Research* 14, 190–204.
- (11) El-Nahry, A.H. and Doluschitz, R., (2010). Climate Change and Its Impacts on the Coastal Zone of the Nile Delta, Egypt. *Environmental Earth Sciences*, 59, 1497-1506. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-009-0135-0>.

- (12) **El-Raey, M., Sharaf El-Din, S., Khafagy, A., & Abo Zed, A.,** (1999). Remote sensing of beach erosion/accretion patterns along Damietta–Port Said shoreline, Egypt. *Int J Remote Sens* 20:1087– 1106.
- (13) **El Shinawy, I. A., Abdrabo, M. A., & Farouk, A.,** (2012), *Sea Level Rise in the Nile Delta: Impacts, Vulnerability and Adaptation*. Cairo: Center for Development Services (CDS).
- (14) **Emery, K. O., Aubrey, D. G, and Goldsmith V.,** (1988), Coastal Neo-Tectonics of the Mediterranean from Tide- Gauge Records, *Marine Geology: VOL. 81, Issues 1-4*, pp. 41-52, doi:10.1016/0025-3227(88)90016-3.
- (15) **Ericson, J., C. Vorosmarty, S. Dingman, L. Ward, and M.,** (2006), “Effective Sea-Level Rise and Deltas: Causes of Change and Human Dimension Implications.” *Global and Planetary Change*, vol. 50, no. 1-2, pp. 63–82., Doi: 10.1016/j.gloplacha.2005.07.004.
- (16) **Essam A. M. Deabes.,** (2017), “Applying ArcGIS to Estimate the Rates of Shoreline and Back-Shore Area Changes along the Nile Delta Coast”, Egypt, *International Journal of Geosciences*, Vol.8 No.3, DOI: 10.4236/ijg.2017.83017
- (17) **Elsaka, B., Radwan, A. M., & Rashawn, M.** (2020). Evaluation of Nile Delta-Mediterranean Sea Conjunction Using GPS, Satellite-Based Gravity, and Altimetry Datasets. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 8, 33-46.
- (18) **Frihy, O. E., Deabes, E. A., Shereet, S. M., & Abdalla, F. M.,** (2010), Alexandria-Nile Delta coast, Egypt: Update and Future Projection of Relative Sea-Level Rise. *Environmental Earth Sciences*, 61, 253-273. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0340-x>
- (19) **Frihy, O. E.,** (1984), Sea-Level rise and shoreline retreat of the Nile Delta Promontories, Egypt, *Natural Hazards*, Vol. 5, No. 1, PP. - Frihy, o. E, “The Nile Delta-Alexandria Coast: Vulnerability to Sea-Level Rise, Consequence and Adaptation,” *Mitigation adaptation Strategies for Global Change* 8, no. 2.
- (20) **Frihy, O.,** (2003), The Nile delta-Alexandria coast: vulnerability to sea-level rise, consequences, and adaptation. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 8, 115–138. <https://doi.org/10.1023/A:1026015824714>
- (21) **Frihy, O. E., & El-Sayed, M.,** (2013), Vulnerability risk assessment and adaptation to climate change induced sea level rise along the Mediterranean coast of Egypt, *Mitig Adapt Strateg Glob Change*. 18:1215–1237 DOI 10.1007/s11027-012-9418-y.
- (22) **FAO.,** (2022), Land Cover Classification System, Multipurpose Landcover Database for Egypt – AFRICOVER, on the following link:
<https://data.apps.fao.org/map/catalog/srv/eng/catalog.search#/metadata/a7fd1a64-475f-4e34-a3b3-c79e014311ec>
- (23) **Hietel, Elke & Waldhardt, Rainer & Otte, Annette.,** (2004), Analyzing land-cover changes in relation to environmental variables in Hesse, Germany. *Landscape Ecology*. 19. 473-489.
Doi.10.1023/B:LAND.0000036138.82213.80.
- (24) **Haggag, M., El-Shazly, A & Rakha, K.,** (2013), Impact of Sea Level Rise on the Nile Delta, Egypt. *Journal of Engineering and Applied Science*, 60, 211-230.
- (25) **Hasan, E., Khan, S. I., & Hong, Y.,** (2015), Investigation of Potential Sea Level Rise Impact on the Nile Delta, Egypt Using Digital Elevation Models. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187, Article No. 649.
<https://doi.org/10.1007/s10661-015-4868-9>
- (26) **IPCC.,** (1998), *The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press. A Special Report of IPCC Working Group II.

- (27) **IPCC.**, (2000), Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC SPECIAL REPORT EMISSIONS SCENARIOS. Summary for Policymakers. A Special Report of IPCC Working Group III. <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf>
- (28) **IPCC.**, (2001), Climate Change 2001: The Scientific Basis Contribution of Working Group, I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, UK.
- (29) **IPCC.**, (2007), Climate Change 2007, Synthesis Report. URL:http://www.ipcc.ch/pdf/assessment.report/ar4/syr/ar4_syr.pdf
- (30) **IPCC.**, (2010), Workshop Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Workshop on Sea Level Rise Ice Sheet Instabilities [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. Allen, P.M. Midgley (eds.)]. IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzer,
- (31) **IPCC.**, (2013), Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1535 pp, Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K. and New York.
- (32) **IPCC.**, (2019), Technical Summary [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.- O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press. http://www.ipcc.ch/pdf/supportingmaterial/SLW_WorkshopReport_kuala_lumpur.pdf
- Ismail, N., Iskander, M., El-Sayed, W.**, (2012), Assessment of Coastal Flooding at Southern Mediterranean with Global Outlook for Lowland Coastal Zones. International Conference on Coastal Engineering, <https://doi.org/10.9753/icce.v33.structures.8>
- (33) **Jason P. Ericson, Charles J. Vörösmarty a, b, 1, S. Lawrence Dingman b,2, Larry G. Ward b, Michel Meybeck.**, (2005), Effective sea-level rise and deltas: Causes of change and human dimension implications, *Global and Planetary Change* 50, vol. 50, no. 1-2, pp. 63–82., Doi: 10.1016/j.gloplacha.2005.07.004.
- (34) **K. White, H. Asmar, August.**, (1999), monitoring changing position of coastlines using Thematic Mapper imagery, an example from the Nile Delta, *Environmental Science, Mathematics, Geomorphology*, DOI:10.1016/S0169-555X(99)00008-2
- (35) **Milliman, J.D., Broadus, J.M., Gable, F.**, (1989), Environmental and economic implications of rising sea-level and subsiding deltas: the Nile and Bengal examples. *Ambio* 18, 340–345.
- (36) **M. A. Hassaan.**, (2013), GIS-based risk assessment for the Nile Delta coastal zone under different sea level rise scenarios case study: Kafr EL Sheikh Governorate, Egypt, *J Coast Conserv* (2013) 17:743–754 DOI 10.1007/s11852-013-0273-0.
- (37) **Miller, L., Douglas, B.C.**, (2004), Mass sand volume contributions to Twentieth century global sea-level rise. *Nature* 428, 406–409.
- (38) **Mohamed A. A, Mahmoud A. H.**, (2020), "Assessment of Policy-Research Interaction on Climate Change Adaptation Action: Inundation by Sea Level Rise in the Nile Delta", *Journal of Geoscience and Environment Protection*, Vol.8 No.10, 2020, DOI:10.3390/su13073624
- (39) **30 - Mohamed E. Hereher.**, (2013), Coastal vulnerability assessment for Egypt's Mediterranean coast, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, Pages 342-355, Volume 6, 2015 - Issue 4, <https://doi.org/10.1080/19475705.2013.845115>

- (40) **Nicholls, R. Hanson, S. Herweijer, C. Ranger, Nicola. Hallegatte, Stéphane. Corfee - Morlot, Jan. Chateau, Jean. Muir-Wood, Robert.,** (2008), Ranking Port Cities with High Exposure and Vulnerability to Climate Extremes: Exposure Estimates. DOI:10.1787/011766488208, OECD Environment Working Papers.
- (41) **Refaat, M. M., & Eldeberky, Y.,** (2016), Assessment of Coastal Inundation Due to Sea-Level Rise along the Mediterranean Coast of Egypt. *Marine Geodesy*, 39, 290-304. <https://doi.org/10.1080/01490419.2016.1189471>
- (42) **Rick Lumpkin, Phillip Greg Rebecca Lindsey, Thompson, William SWEET.,** (2020). علي الرابط : <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-sea-level>
- (43) **Sameh B. Elkafrawy, Manar A. Basheer, Hagar M. Mohamed, Doaa M. Naguib.,** (2021), Applications of remote sensing and GIS techniques to evaluate the effectiveness of coastal structures along Burullus Headland-Eastern Nile Delta, Egypt, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, Volume 24, Issue 2, Pages 247-254, <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2020.01.002>
- (44) **Sestini, G.,** (1992), Implications of climatic changes for the Nile delta. In: L. Jeftic, J.D. Milliman and G. Sestini (Editors), *Climatic Change and the Mediterranean*. Edward Arnold, New York, pp. 535-601.
- (45) **Singh. K, Vogler. J, M. Qingmin. Meentemeyer, R.,** (2010), Mapping Land Use Patterns in an Urbanizing Landscape Using LiDAR Intensity Data. *Optical Remote Sensing of the Environment*. 10.1364/ORSE.2010.OMC2.
- (46) **Stanley, D. J., and A. G. Warne.,** (1993), "Nile Delta: recent geological evolution and human impacts"; *Science*, vol. 260, no. 5108, 1993, pp. 628–634., doi:10.1126/science.260.5108.628.
- (47) **Stanley. D. J.,** (1997), Mediterranean deltas: subsidence as major control of relative sea-level rise, *Bulletin de l'Institut océanographique*, Monaco, n special 18, CIESM Science Series in 3, pp. 35–62.
- (48) **Zaid, S., Mamoun, M., & Al-Mobark, N.,** (2014), Vulnerability Assessment of the Impact of Sea Level Rise and Land Subsidence on North Nile Delta Region, *World Applied Sciences Journal*, Vol. 32 Issue 3, p325