

رصد التغيرات الجيومورفولوجية شمال الدلتا المصرية وأثرها على التنمية الحضرية باستخدام التقنيات الجيومكانية "دراسة تطبيقية"

د. صبحي عبد الحميد عبد الجواد

مدرس الجيومورفولوجيا ونظم المعلومات الجغرافية

كلية الآداب - جامعة بورسعيد

د. غادة محمود قمر

مدرس جغرافية العمران ونظم المعلومات الجغرافية

كلية الآداب - جامعة الزقازيق

ملخص البحث:

شهدت الدلتا المصرية تغيرات مورفولوجية كثيرة في خط الساحل وحيث تُعد تغيرات خط الساحل أحد التحديات الجيومورفولوجية المؤثرة على التنمية الحضرية في المناطق الساحلية، وتتوعد أسباب هذه التغيرات ما بين طبيعية وبشرية، لذا يُعد تحديد مواقع التغيرات الساحلية وحجمها ومعدلاتها أمراً ضرورياً لتقييم تأثيرها على التنمية ودعم عمليات اتخاذ القرارات الإستراتيجية. لذا تم استخدام عدد من أدوات التحليل الجيومكاني المختلفة منها تقنيات الذكاء الاصطناعي (Geo AI) في مجال نظم المعلومات الجغرافية، بهدف توفير معلومات دقيقة وفعالة لتحليل التغيرات الزمكانية، كذلك تم استخدام عدة أساليب لتتبع مواقع هذه التغيرات على طول منطقة الدراسة خلال الفترة من ١٩١٤م إلى ٢٠٢٤م مثل (Digital Shoreline Analysis Systems, DSAS). وبشكل عام يسهم هذا البحث في تقديم تقديرات لمعدلات تغير خط الساحل وتأثيرها على المناطق الحضرية الساحلية حيث تم استخدام (Geo AI) للتنبؤ بإمكانية تطوير النماذج والمسار الساحلي في المستقبل. كما تم إعداد خريطة دقيقة للمناطق المهتدة بتغيرات الخط الساحلي خاصة بعد بناء السد العالي عام ١٩٦٠م والتغيرات المورفولوجية الناتجة عنه.

وتمتد منطقة الدراسة في حيز مكاني عريض بلغت مساحته ١٦٤٦٦ كم^٢، قد أشارت نتائج الدراسة إلى وجود معدلات نحت مرتفعة للغاية في العديد من المواقع بلغت نحو ٦٢.١٪ تقابلها عمليات الإرساب بنسبة ٣٧.٩٪ ولكن في مناطق محدودة وإن كان النصب الأكبر من مناطق الإرساب في غرب منطقة الدراسة بعكس شرقها التي كانت عمليات النحت بها ذات معدلات أكثر بما يشير إلى وجود حالة من عدم الاتزان النسبي ما بين عمليات النحت والإرساب، وأن هناك حمولة مفقودة من الرواسب لم يتم ترسيبها بالكامل بفاقد بلغ ٢٦.١ كم^٢، تعتبر حمولة تم ترسيبها في مواقع خارج منطقة الدراسة.

الكلمات المفتاحية: الزمكانية، الذكاء الاصطناعي الجغرافي، الدلتا المصرية، خط الساحل، مواقع التغيرات DSAS, Change Detection.

Monitoring Geomorphological Changes at the North of Egyptian Delta and their Impact on Urban Development Using Geospatial Techniques "An Application Study"

Dr. Ghada Mahmoud Kamar
Lecturer of Urban Geography and GIS
Faculty of Arts - Zagazig University

Dr. Sobhi Abdel Hamid Abdel Gawad
Lecturer of Geomorphology and GIS
Faculty of Arts - Port Said University

Abstract

The Egyptian Delta has been impacted with many morphological changes in the coastline. These Coastline changes are considered one of the most geomorphological challenges affecting urban development in coastal areas. The causes of these changes vary between natural and human. Hence, this paper aims to determine the locations, size, and rates of coastal changes in the study area to evaluate their impact on development projects and making strategic decisions. Therefore, Geospatial analysis tools were used, including Artificial Intelligence techniques (Geo AI) in Geographic Information Systems (GIS), to provide accurate and effective information to analyze Spatio-Temporal changes. Methods were also used to detect the locations of these changes along the study area during the period from ١٩١٤ AD to ٢٠٢٤ AD. Such as Digital Shoreline Analysis Systems (DSAS).

Generally, this research contributes to providing estimations of the coastline change rates and its impact on coastal urban areas. (Geo AI) were used to predict the possibility of developing models and coastline path in the future. Also, an accurate map for the threatened areas in coastal line changes were prepared, especially after the construction of the High Dam in ١٩٦٠ AD and the morphological changes resulting from it.

The study area extends to ١٦,٤٦٦ km^٢. The results of the study indicated that there were very high erosion rates in many sites, amounting to about ٦٢,١%, compared to sedimentation processes at a rate of ٣٧,٩%, but in limited areas, although the most sedimentation areas were at the west of the study area. In contrast to its east, where the sculpting processes were at fasted rates, which indicates the existence of a state of relative imbalance between the sculpting and deposition processes, and that there is a missing load of sediment that was not completely deposited, about ٢٦,١ km^٣, which is considered a load that was deposited in sites outside the study area.

Keywords: Spatio-temporal, Geographic Artificial intelligence (Geo AI), Egyptian delta, coastline, change detection, DSAS.

المقدمة:

يعاني ساحل^(١) الدلتا المصرية على البحر المتوسط من إشكالية النحت أو التآكل المستمر، والذي يعد أحد الأخطار الجيومورفولوجية التي تهدد الأنشطة التنموية في النطاق الساحلي بشكل خاص، وسوف تتناول هذه الدراسة تتبعًا لتغيرات خط الساحل زمكانيًا في دراسة تطبيقية للفترة ما بين عامي ١٩١٤م و ٢٠٢٤م، وتناول أسباب هذه التغيرات التي تتلخص في مجموعة متنوعة من الضوابط الطبيعية والبشرية، وما ينتج عنها من تغير في مستوى سطح البحر، إضافة إلى دراسة وتحليل أنماط استعمالات الأراضي Land Use في النطاق الساحلي المهدد بالخطر.

ووفقًا لتقارير المنظمة العالمية للتغيرات المناخية IPCC فإنه يعيش ما يزيد على نحو ثلثي سكان العالم بالقرب من السواحل في نطاق مكاني لا يتعدى ٢٠٠ كم (Brocher & Ramieri, ٢٠٠١)، وعليه فإن سيناريوهات التوسع الجيومكانية المحتملة للكتل العمرانية في هذا النطاق الساحلي يواجه مشكلات متعددة، منها تغيرات خط الساحل؛ لذا يعد الاعتماد على صور الأقمار الصناعية المتنوعة ونماذج الارتفاعات الرقمية DEM والبيانات الرقمية لخرائط الأساس مقياس ١/٥٠٠٠٠٠ جزءًا ضروريًا في عمليات النمذجة والتنبؤ، وساعد توافر هذه البيانات على إجراء تحليل شامل لساحل الدلتا وتحديد المناطق المتأثرة بالتغيرات على طول خط الساحل، وتم تصنيف هذه المناطق وفقًا لنوعية التغير ودرجة الخطورة، مما يمكّن من اتخاذ الإجراءات الاحترازية لدرء تلك الأخطار.

وجدير بالذكر أن التطورات الجيوتقنية في السنوات الأخيرة أتاحت الفرصة عبر توظيف استخدام نظم المعلومات الجغرافية من أجل التتبع المنهجي لمراحل التطور المورفولوجي لخط الساحل وتوظيف الذكاء الاصطناعي الجيومكانية Geo AI عبر تطبيق المؤشرات الطيفية وما يتعلق بها Band Ratio واستخراج مواقع التغيرات Change Detection وانعكاساتها عبر تحليل السلاسل الزمنية والتنبؤ بوضع ومقدار تغيرات خط الساحل المتوقعة في المستقبل وتقييم تلك التغيرات.

وقد تم تحليل البيانات الكمية المستنتجة وتقديم توقعات أكثر دقة بشأن التأثير المستقبلي لمدى تدهور تغيرات خط الساحل، بالتالي يصبح بالإمكان اتخاذ قرارات إستراتيجية تنموية مستدامة وفعالة في مواجهة هذه التحديات البيئية المتزايدة، حيث إن الأنشطة البشرية التي تتجاهل الجانب البيئي قد تكون مسئولة بشكل ما عن تسريع وتيرة تغيرات خط الساحل.

(١) كلمة ساحل مشتقة من فعل "سحل" حيث تقوم الأمواج بسحل الرمال أو الحصى عند التقاء اليابس بماء البحر

(محمد سعيد البارودي، ٢٠١٨م، ص ٢٨٢).

موقع وأهمية منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة بين خطي طول ٣٠° و ٣٢° شرقاً ودائرتي عرض ١٢.٥٣° و ١٠.٥١° و ٠٦.٣٧° شمالاً، يحدها من الشمال البحر المتوسط ومن الجنوب الخط الوهمي الواصل بين أقصى جنوب بحيرة المنزلة مع بحيرة مريوط، ومن الشرق مدينة بورفؤاد ومن الغرب مدينة الحمام (شكل ١)، وهي تعد جزءاً من الأقاليم المورفولوجية بجمهورية مصر العربية والتي نالت العديد من الدراسات المتنوعة منها الجغرافية وغير الجغرافية، وبلغ إجمالي طول خط الساحل في منطقة الدراسة نحو ٤٧٠.٤ كم، وهي بذلك الامتداد تشغل مساحة ٩٧٢٠ كم^٢، ووفقاً لهذا الامتداد والحيز المكاني تستحوذ منطقة الدراسة على إقليم عمراني رئيسي يتضمن الجزء الشمالي من الدلتا المصرية، والذي يمتد في ثمانية محافظات هي: "بورسعيد، دمياط، الدقهلية، الشرقية، كفر الشيخ، البحيرة، الإسكندرية، مطروح".

ولسهولة عرض عناصر الدراسة التحليلية تم تقسيم المنطقة إلى ثلاث قطاعات، **القطاع الأول**: يبدأ من شرق مدينة بورفؤاد بنحو ٢٢ كم تقريباً وصولاً إلى دمياط ويبلغ إجمالي طوله ٨٣.٤ كم بنسبة ١٧.٧٪ و**القطاع الثاني**: ويبدأ من دمياط وحتى بداية مدينة رشيد ويبلغ إجمالي طوله ١٧٩.٤ كم بنسبة ٣٨.١٪ و**القطاع الثالث والأخير** يبدأ من مدينة رشيد وحتى بداية مدينة الحمام مباشرة ويبلغ إجمالي طوله ٢٠٧.٤ كم بنسبة ٤٤.١٪ من إجمالي طول ساحل منطقة الدراسة.



المصدر: بالاعتماد على صورة القمر الصناعي Sentinel-2 بدقة وضوح ١٠ متر.

شكل (١) موقع منطقة الدراسة.

تتبع أهمية هذه الدراسة من أنها تناقش أحد أهم الأخطار الجيومورفولوجية التي تهدد التجمعات العمرانية الساحلية بشكل عام ومنطقة الدراسة بشكل خاص وتمس أمن واستقرار السكان وممتلكاتهم عبر تطبيق التقنيات الجيومكانية في دراسة خطر تغيرات خط الساحل عبر استخدام برمجيات نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS Pro، إضافة لبرامج معالجة صور الأقمار الصناعية Erdas

Imagine ثم يتبع ذلك تطبيق المؤشرات الطيفية Band Ratio، وما يتعلق بها لاستخراج مواقع التغيرات الساحلية بما يدعم متخذ القرار في القرارات التنموية المختلفة وخطط تطوير وتنمية منطقة الدراسة والمناطق المماثلة بما يحافظ على أرواح ساكنيها.

أهداف الدراسة:

- ١- تحليل مسارات خط الساحل خلال الفترة (١٩١٤م حتى ٢٠٢٤م).
- ٢- إلقاء الضوء على المواقع الأكثر تأثراً بتغيرات خط الساحل.
- ٣- تحديد المواقع المهددة بالأخطار الناتجة عن النحت ورسم خريطة تفصيلية لها.
- ٤- إجراء تصنيف للمناطق العمرانية المتضررة من العمليات المورفولوجية لتآكل خط الساحل، وتصنيف خط الساحل الي مناطق وفقاً لدرجة الاستقرار النسبي وفق مدي تغيرات النحت لخط الساحل في منطقة الدراسة.
- ٥- نمذجة التغيرات المكانية لتحديد مسار خط الساحل في تتبؤ مستقبلي لفترة زمنية تبلغ ١٠ سنوات وتحديد المناطق المتضررة وأنماط استعمالات الأراضي بها.
- ٦- تقديم دراسة جيومورفولوجية تساعد في دعم الجانب التنموي عبر تحديد العلاقة بين مستويات تآكل خط الساحل من جانب والأنشطة البشرية من جانب آخر.

أسباب اختيار الموضوع:

- ١- الوقوف على حالة الساحل وتحديد مواقع النحت وأثرها على التنمية الحضرية في مواضعها.
- ٢- تقديم دراسة وافية لاتخاذ القرار التنموي الآمن عبر تصنيف المناطق المتأثرة بتغيرات خط الساحل ودرجات الخطورة، بما يساعد في اتخاذ إجراءات احترازية لدرء الأخطار المحتملة.
- ٣- محاولة فهم أسباب التغيرات وضوابطه الطبيعية والبشرية وتوقعاتها المستقبلية، بما يسهم في تطوير إستراتيجيات فعّالة للإدارة البيئية، من أجل الحفاظ على البيئة الساحلية والتصدي للتحديات البيئية المتزايدة.
- ٤- توظيف الذكاء الاصطناعي لتوقع تأثيرات التدهور المحتملة والناتجة عن تغيرات خط الساحل في المستقبل بما يسهم في اتخاذ قرارات تنموية إستراتيجية تهدف إلى المحافظة على البيئة والتنمية المستدامة في المنطقة الساحلية.

إشكالية الدراسة:

نتوقع العديد من التقارير العلمية والدراسات السابقة إلى أنه خلال القرن الحالي سوف يزداد مستوى سطح البحر إلى ما بين ١٠-٢٥ سم، بينما تتوقع تقارير المنظمة العالمية للتغيرات المناخية

IPCC أن يرتفع منسوب سطح البحر إلى ما بين ٢٦-٥٩ سم تقريبًا بحلول عام ٢١٠٠م، وبما أن الشواطئ تعد خط الدفاع الأول عن المدن الساحلية، وتعتبر مصدرًا اقتصاديًا مهمًا لتلك المدن ومناطق للاستجمام، وعليه فإن البحث يقف على تقديم التداعيات وأسبابها، وما هو الوضع الحالي لخط الساحل؟ وتحديد الأماكن المتأثرة بالتغيرات الجيومرفولوجية سواء بالنحت أو الإرساب، وما تأثير ذلك على النشاط البشري في هذا النطاق؟ وما استعمالات الأراضي المتأثرة بهذه التغيرات على مستوى محافظات منطقة الدراسة.

المصادر والبيانات:

لتحقيق أهداف الدراسة تم الاعتماد على العديد من المصادر وهي: الخرائط الطبوغرافية مقياس ١/٢٥.٠٠٠ بعدد (١٨ لوحة) عام ١٩١٤م في رسم خط الأساس الذي تم الاعتماد عليه في عملية المقارنة، وكذلك الخرائط مقياس ١/٥٠.٠٠٠ بعدد (١٦ لوحة) عام ١٩٨٨م، والخرائط الجيولوجية مقياس ١/٢٥٠.٠٠٠ لدراسة التكوينات الجيولوجية، وخرائط الأدميرالية البحرية البريطانية مقياس ١/١٠٠.٠٠٠ بالإضافة إلى صور الأقمار الصناعية Landsat و Sentinel-٢ جدول (١) والبيانات الرقمية للقمر الصناعي Copernicus^(١) و Corona^(٢).

تم الاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM بدقة وضوح ١٢.٥ متر، مستنتج من صور القمر الصناعي ALOS PALSAR^(٣) لتحديد حجم المناطق المتأثرة بخطر النحت كما تم الاعتماد على البيانات المناخية لكل من: بورسعيد ودمياط وبلطيم ورشيد والإسكندرية للفترة ما بين ١٩٨٠م و٢٠٢٣م.

(١) Copernicus: برنامج فضائي مخصص لخدمة مراقبة البيئة البحرية (Copernicus Marine Environment Monitoring Service - CMEMS) هي جزء مهم من هذا البرنامج يوفر بيانات دقيقة وشاملة عن المحيطات والبيئات البحرية وهو يتضمن العديد من الأقمار الصناعية التي تُستخدم لمراقبة الأرض وتقديم مجموعة متنوعة من الخدمات البيئية..

(٢) Corona: هو الاسم الرمزي لأول مهمة للأقمار الصناعية التجسسية الفوتوغرافية للولايات المتحدة، وكانت تعمل من عام ١٩٦٠م إلى عام ١٩٧٢م خلال تلك الفترة، التقطت أقمار كورونا صورًا عالية الدقة لمعظم سطح الأرض، مع التركيز الخاص على الدول الواقعة في كتلة الاتحاد السوفيتي ومناطق سياسية ساخنة أخرى لمراقبة المواقع العسكرية وإنتاج الخرائط لوزارة الدفاع.

(٣) ALOS PALSAR: هو قمر صناعي راداري بتردد L-Band، مصمم لمراقبة تغيرات سطح الأرض، وقد بدأت عملياته في عام ٢٠٠٦م واستمرت حتى عام ٢٠١١م. يُعتبر PALSAR واحدة من ثلاثة أدوات مثبتة على القمر الصناعي لرصد الأرض، وتسهم في تطوير مجالات رسم الخرائط والمراقبة الإقليمية لتغيرات الغطاء الأرضي، وكذلك في مراقبة الكوارث واستطلاع الموارد.

جدول (١) بيانات صور الأقمار الصناعية المستخدمة في الدراسة

الدقة المكانية	Row	Path	عدد الاطراف	اسم القمر الصناعي	السنة
٣ متر	-	-	١	Corona	١٩٦٨
٣٠ متر	٣٩	١٧٧	٧	Land Sat ٥- TM	١٩٨٥ - ١٩٩٠ ١٩٩٥ - ٢٠٠٠
	٣٨				
	٣٨	١٧٦			
	٣٩				
	٣٩				
٣٠ متر، ١٤.٥ متر	٣٩	١٧٦	٩	Land Sat ٧- ETM+	٢٠٠٠
	٣٩	١٧٧	١١	Land Sat ٨- OLI/ TIRS	٢٠١٥ - ٢٠٢٠ - ٢٠٢٣
	٣٨				
	٣٨	١٧٦			
	٣٩				
٣٩	١٧٨				
٧ كم	-	-	٣	Copernicus	٢٠٢٤
١٠ متر			٣	Sentinel-٢	٢٠٢٤

كما شملت الدراسة الميدانية عددًا من التجمعات العمرانية الرئيسية الساحلية بمنطقة الدراسة مثل: مدينة بورسعيد ومدينة دمياط الجديدة ورأس البر؛ لرصد التغيرات التي طرأت على تلك الأماكن بالإضافة إلى المزارع السمكية أيضا، كما تم استخدام التحليل الجيومكاني لتوزيع التجمعات العمرانية بمنطقة الدراسة، حيث تم الاعتماد فيه على معامل الجار الأقرب (Average Nearest Neighbor Distance) بوصفه واحدًا من أهم أساليب التحليل الجيوإحصائي المستخدمة في تحليل المسافات الحقيقية بين النقاط المنتشرة في نطاق جغرافي محدد، حيث يقوم هذا المعامل بقياس المسافة بين كل نقطة وأقرب نقطة مجاورة لها، فيتم احتسابه باستخدام المعادلة التالية:

$$I = M^2 * \sqrt{N/H}$$

حيث M متوسط المسافة المتوقعة النظرية، وN عدد النقاط، وH مساحة منطقة الدراسة (الصالح، والسرياني، ٢٠٠٠، ص ٢٢٧).

منهجية البحث وأساليبه:

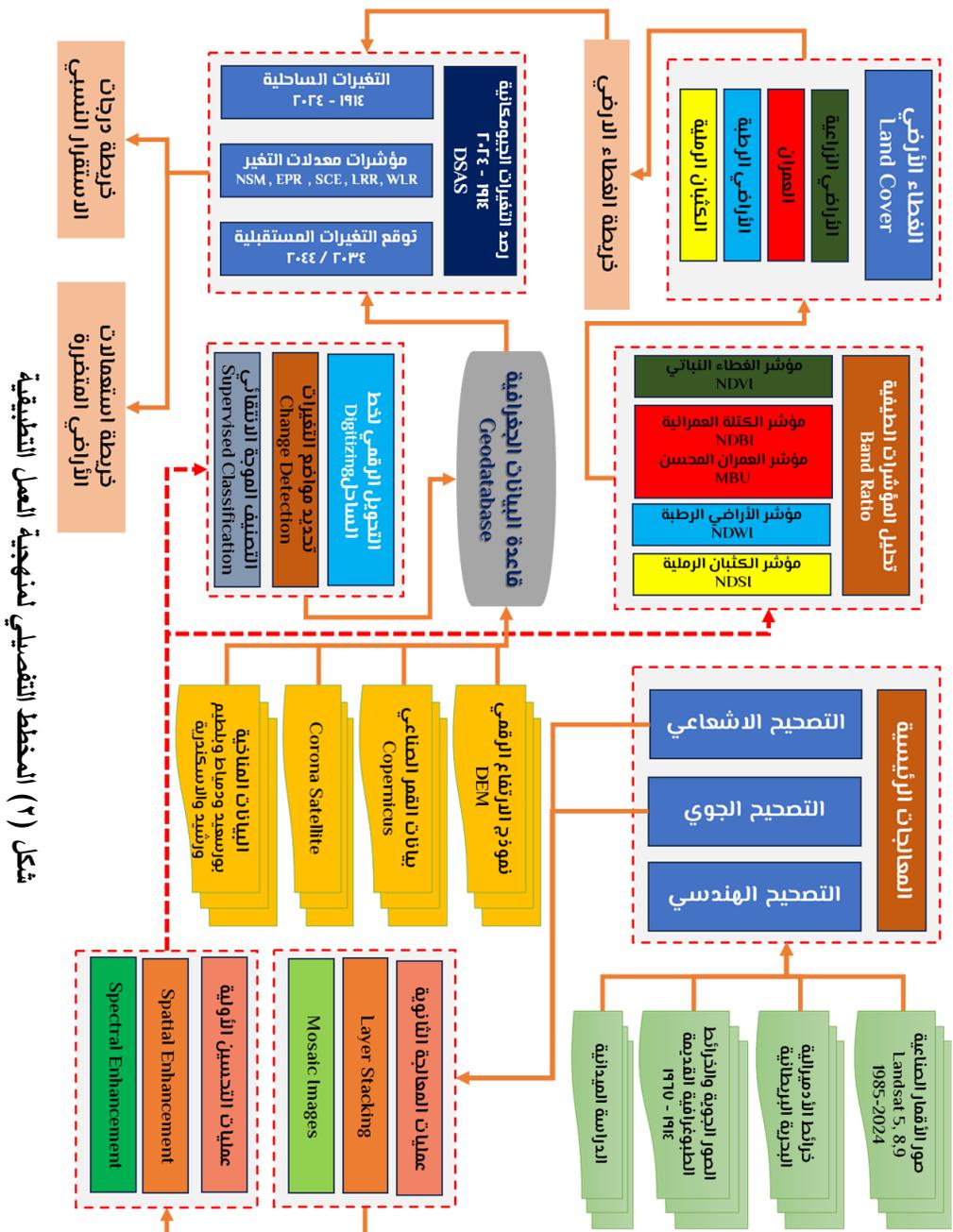
تم الاعتماد علي **المنهج التحليلي** في تتبع مسار خط الساحل واستخدام الذكاء الاصطناعي Geo AI لتحديد وتتبع التغيرات من خلال **توظيف المدخل التاريخي** لمقارنة تطور خط الساحل في المنطقة خلال ١١٠ عامًا بشكل عام، واستخدامات الأراضي من خلال الدمج بين الخرائط الطبوغرافية وتقنية الاستشعار عن بعد لمتابعة التغيرات المكانية بالمنطقة، إضافة إلى **المدخل الاستنباطي** والذي استخدم من أجل الوصول لمجموعة من المعايير التي يمكن بواسطته تحليل العلاقات المتبادلة بين كل من العوامل الطبيعية والبشرية المؤثرة في تغيرات خط الساحل بمنطقة الدراسة ودور الإنسان في ذلك، إضافة لاستخدام بعض الأساليب الجيوتقنية الحديثة (شكل ٢)، ومن أهمها: التوظيف المنهجي للذكاء الاصطناعي الجغرافي Geo AI لدراسة تغيرات خط الساحل، بالإضافة إلى تحليل السلاسل الزمنية لدراسة وتحديد مواضع التغيرات الجيومكانية، والتنبؤ بمناطق تغيرات الساحل المحتملة في المستقبل عبر أدوات التحليل (DSAS) لتحديد مدى تأثيرها علي الأنشطة الحضرية بالمنطقة.

أولاً - الخصائص الطبيعية:

تتعدد العوامل الطبيعية التي تؤثر على خط الساحل، وهي:

(١) التكوين الجيولوجي:

تعد دراسة التوزيع الجغرافي للتكوينات الجيولوجية من أهم العناصر المؤثرة بمنطقة الدراسة، حيث تم من خلالها التعرف علي نوعية وخصائص هذه التكوينات وانعكاسات ذلك علي الرواسب المختلفة، كما توضح مدى استجابة خط الساحل لعمليات التآكل المستمرة وما ينتج عنها من ظاهرات نحت وإرساب علي طول خط الساحل، حيث يضعف تأثير عوامل التعرية البحرية كلما اشتدت صلابة الصخور المكونة للنطاق الساحلي وانخفضت نسبة ما تتضمنه من عيوب بنيوية (الفواصل)، بينما يعظم فعل التعرية البحرية في الصخور اللينة والهشة (جودة حسانين جودة، ١٩٩٨م، ص ٢٩١)، يتضح من شكل (٣) أن التكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة تتسم بالبساطة حيث تتبع الزمن الرابع، ونظرًا لأن المنطقة تعتبر حديثة التكوين الجيولوجي فمعظم رواسبها بلايستوسينية وهولوسينية؛ لوقوعها علي ساحل الدلتا المصرية، وذلك علي النحو التالي :



شكل (٢) المخطط التفصيلي لمنهجية العمل التطبيقية



المصدر: بالاعتماد على الخرائط الجيولوجية مقياس ١/ ٢٥٠.٠٠٠، هيئة المساحة الجيولوجية، وزارة البترول والثروة المعدنية.

شكل (٣) التوزيع الجغرافي للتكوينات الجيولوجية بمنطقة الدراسة.

أ- رواسب البليستوسين: وهي تنقسم إلى ثلاثة أنواع وفق بيئة الإرساب والضوابط المسؤولة عنها، وهي: الرواسب البحرية: وأغلبها من الرمال حديثة التكوين ويغلب عليها اللون الأصفر أو البني الفاتح المائل إلى الحمرة؛ وذلك بسبب تعرضها لعمليات التأكسد والتميؤ للمعادن المحتوية على معدن الحديد، إضافة إلى الرواسب النهرية: حيث قامت الأفرع القديمة لدلتا نهر النيل بدور كبير في تكوين منطقة الدراسة عبر ما جلبته من رواسب استطاعت أن تمتد في العمق داخل مياه البحر المتوسط، ثم قامت الرياح الشمالية والشمالية الغربية إضافة للتيارات البحرية بنقل هذه الرواسب نحو الشاطئ لتترسب في شكل صفائح رقيقة السمك. وأخيرًا الرواسب البحرية: حيث طغت مياه البحر على الأراضي الزراعية في عديد من المناطق مثلما حدث في بحيرة إيكو وما حولها، والتي كان من المحتمل أن تكون امتدادًا لبحيرة البرلس نحو الغرب.

ب- رواسب الهولوسين: شهدت منطقة الدراسة في الهولوسين فترات طويلة من الجفاف، ومع تزايد قوة الرياح وقوتها على نقل الرواسب من مكانها الأصلي إلى أماكن أخرى ترسبت على شكل طبقات رملية مختلطة، ويمكن إيجاز أهم رواسب الهولوسين فيما يلي:

- الرواسب الساحلية الحديثة: وتمثلها ارسابات الشاطئ التي تحتوي على الكربونات بنسبة ١.٥% وهي تحتوي على نسبة منخفضة للغاية من الطين وترتفع نسبة قلويتها بسبب طبية المكون الجيري بها (Attia, ١٩٧٥, p. ٥٢).

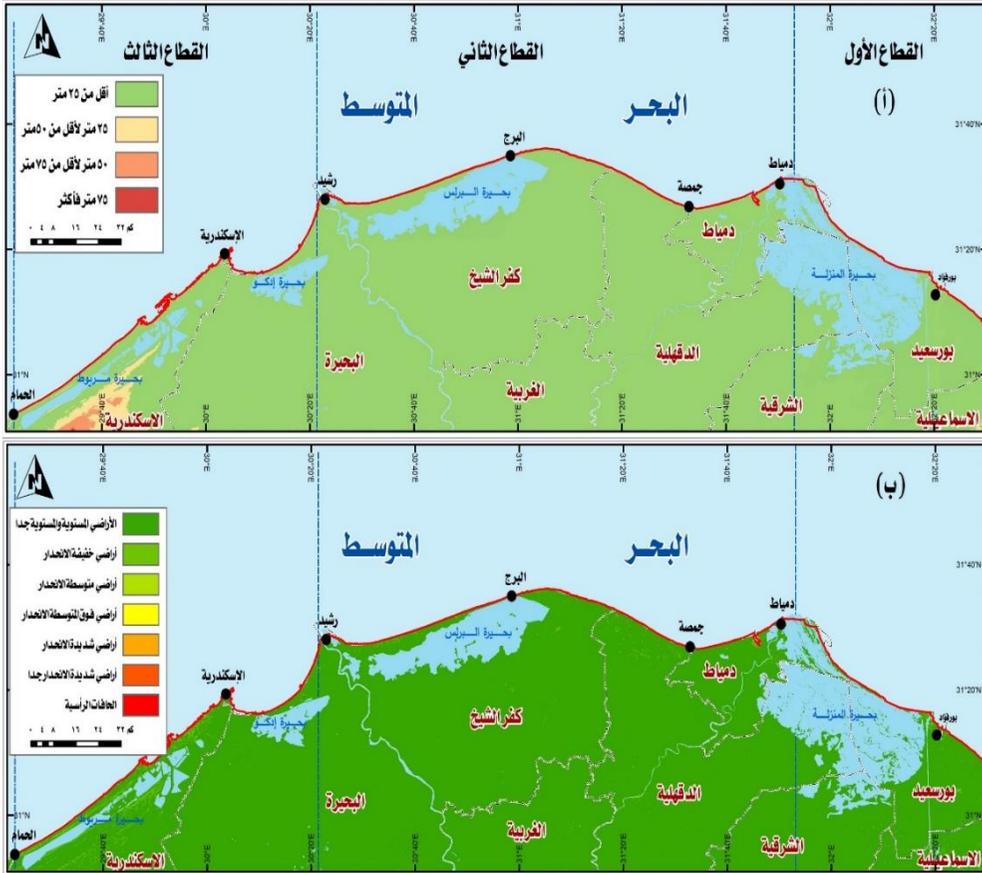
- **رواسب السهل الساحلي:** التي تتألف من الرمال الناعمة ومتوسطة الخشونة ذات لونين: الأصفر والبني، وهي تختلط بمفتحات من الأصداف والرواسب البحرية، ويقع أسفلها طبقات رقيقة من الأملاح وتظهر الرمال السوداء عند منطقة مصب فرع رشيد، وهذه الأخيرة هي رواسب من غرين النيل قادمة من هضبة أثيوبيا وجدت طريقها إلى البحر وامتزجت بمياهه واكتسبت العديد من المعادن بفعل الأمواج التي عادت ورسبتها مرة ثانية على الشاطئ.
- **رواسب السبخات:** تشكلت قرب السواحل على مستوى أعلى المد، وتتضمن رواسب متبخرات الجبس والإنهيدرايت، بالإضافة إلى رواسب الحمولة المذابة والرواسب الفتاتية الهوائية الدقيقة، التي تُعرف باسم "السبخات الساحلية" إذا كان قريبًا من الشاطئ، أما إذا كانت بعيدة عُرفت بـ "سبخات داخلية"، ويتأثر نوع السبخة بمصدر التغذية بالأملاح، حيث تستفيد السبخات البعيدة من المياه الجوفية أو مياه الأمطار، وقد تتغذى من تسرب المياه من الكثبان الرملية المجاورة، بينما تستفيد السبخات القريبة من مصادر المياه مثل البحر والبحيرات والمياه الجوفية.

(٢) البنية الجيولوجية:

يتضح من تحليل الشكل السابق رقم (٣) مدي تأثير نظم الانكسارات المتنوعة في المنطقة، حيث يظهر وجود صدع رئيسي في جنوب غرب سهل الطينة باتجاه شمال غربي/جنوب شرقي، بالإضافة إلى عدد من الانكسارات الفرعية التي تتماشى مع خط الشاطئ في اتجاهات مختلفة، مع تزامن العديد منها مع اتجاه الصدع الرئيسي، كما يظهر وجود صدع باتجاه شمالي/جنوبي في رأس دمياط، وصدع آخر باتجاه رشيد باتجاه شمال شرق/شرق شمال شرق، يتوازي مع اتجاه حافة منخفض القطارة بالصحراء الغربية، مما يؤثر على اتجاه الصدوع في الجزء الشمالي الغربي من الدلتا.

ثانيًا - الخصائص الطبوغرافية والانحدارات:

يتضح من شكل (٤/أ) أن منسوب منطقة الدراسة يتراوح بين صفر إلى ١٠٦ مترًا فوق مستوى سطح البحر ولا توجد أي أشكال تضاريسية كبيرة في المنطقة إلا بعض التشكيلات الرملية الناتجة عن فعل الرياح إلى الجنوب من مدينة الإسكندرية، بينما يلاحظ من شكل (٤/ب) أن قيم زوايا الانحدار في المنطقة تراوحت ما بين صفر إلى ١٠، ووفقًا لذلك يمكن تصنيف الأراضي في المنطقة ما بين الأراضي المستوية والمستوية جدا وأراضي متوسطة الانحدار.



المصدر: بالاعتماد على نموذج الارتفاعات الرقمي DEM، بدقة وضوح مكانية ٢٠.٥ متر.
شكل (٤): (أ) طبوغرافية، شكل (ب) زوايا الانحدار بمنطقة الدراسة.

ثالثاً - الخصائص المناخية:

نستعرض فيما يلي عناصر المناخ المؤثرة على تغيرات خط الساحل بمنطقة الدراسة من خلال الاعتماد على المعدلات الشهرية للعناصر السابق ذكرها في (٥) محطات للفترة ما بين ١٩٨٠ - ٢٠٢٣م لفترة بلغت (٤٣ عاماً)، وذلك على النحو التالي:

١) درجة الحرارة:

يتضح من تحليل جدول (٢) أن المتوسط العام لقيم درجات الحرارة في منطقة الدراسة بلغ ٢٩.١°م وقد سجل في شهر يناير أدنى قيم لدرجات الحرارة في منطقة الدراسة وتراوح ما بين ٧.١°م في محطة الإسكندرية، وباستثناء محطة بورسعيد كان أدنى قيمة لدرجات الحرارة في شهر

فبراير حيث بلغت 12.3°م ، وسجل شهر أغسطس أعلى قيم لدرجات الحرارة ما بين 32.2°م في محطة دمياط و 37.5°م في محطة الإسكندرية، وباستثناء محطة بورسعيد كان أعلى قيمة لدرجات الحرارة في شهر سبتمبر حيث بلغت 28.3°م ، ويلاحظ أن قيم درجات الحرارة تبدأ في الارتفاع التدريجي بدءًا من فصل الربيع لمرور المنخفضات الخماسينية التي تأتي معها موجات الحر الشديدة. ويتضح أن المدى الحراري في منطقة الدراسة سجل أدنى قيمة له في شهر أغسطس بمدينة بورسعيد حيث بلغ 3.1°م وسجل 7.8°م في دمياط و 10.9°م في بلطيم و 9.6°م في رشيد، بينما في الإسكندرية بلغ أدنى قيمة للمدى الحراري 15.6°م في شهر يناير، وكانت أقصى قيمة للمدى الحراري في شهر إبريل بكل من محطتي بورسعيد ودمياط نحو 9.5°م و 14.8°م علي التوالي، وكانت أقصى قيمة في محطات بلطيم ورشيد والإسكندرية 19°م و 17.5°م ، في حين كانت الإسكندرية مختلفة عن باقي المحطات كالمعتاد، حيث سجلت 21.3 في شهر أكتوبر، ونتيجة لهذا التفاوت الكبير في المدى الحراري الشهري والفصلي حدوث نشاط لعمليات التجوية والذي يمكن إرجاعه إلى سيادة المؤثرات البحرية علي أغلب محطات منطقة الدراسة، حيث يعمل البحر علي تلطيف درجة الحرارة، حيث يكتسب البحر المتوسط الحرارة ببطء ويفقدها ببطء أيضًا في الصيف مقارنة باليابس الذي يكتسب الحرارة ويفقدها بسرعة.

ويلاحظ الأثر الجيومورفولوجي لتباين درجات الحرارة في منطقة الدراسة، حيث تعمل على تجفيف المياه المتناثرة على الشاطئ، بالإضافة إلى تجفيف الرمال والمواد الصلصالية، كما تعمل على تمدد المياه البحرية؛ مما يؤثر على نشاط العمليات الجيومورفولوجية على خط الشاطئ.

(٢) الرطوبة النسبية:

يلاحظ من تحليل جدول (٣) أن معدلات الرطوبة النسبية تصل لأعلى قيمة لها في فصل الصيف ولا سيما شهر يوليو في محطتي بورسعيد ودمياط، حيث تبلغ نحو 82.1% و 69.6% وذلك بسبب ارتفاع قيم درجات الحرارة ونشاط عمليات البحر، وهي على العكس من ذلك في نهاية فصل الشتاء، فقد سجلت أدنى قيم لها في شهر ديسمبر 68.6% في محطة بورسعيد و 66.9% في نهاية فصل الخريف بشهر نوفمبر.

في حين كان شهر مايو أدنى شهور العام في قيم الرطوبة النسبية بكل من محطات بلطيم ورشيد والإسكندرية، حيث سجلت 64.1% و 65.5% و 58.2% على التوالي؛ بسبب قدوم الرياح المحملة بالأمطار نحو منطقة الدراسة، بينما سجل في شهر يناير أعلى قيم للرطوبة النسبية على مدار العام بذات المحطات حيث بلغت 68.6% و 69% و 68.3% على التوالي.

جدول (٢) متوسط قيم درجات الحرارة في محطات منطقة الدراسة للفترة (١٩٨١ - ٢٠٢٣م)

المحطة / الشهر	بورسعيد			دمياط			بطنيم			رشيد			الإسكندرية		
	عظمى	المدى	صغرى	عظمى	المدى	صغرى	عظمى	المدى	صغرى	عظمى	المدى	صغرى	عظمى	المدى	صغرى
ديسمبر	٢١,٧	١٤,٥	٧,٢	٣٣,٩	٩,٩	٤,٤	٢٣,٧	١١,٢	٢٣,٢	١٢,٥	١١,٩	٢٣,٢	١١,٣	٢٤,٧	٧,٢
يناير	١٩,٥	١٢,٦	٦,٩	٢٠,٨	١٠,٥	١٠,٣	٢١,٥	٩,٤	٢١,٠	١٢,١	١٠,١	٢١,٠	١٠,٨	٢٢,٧	٧,١
فبراير	١٩,٩	١٢,٣	٧,٦	٢٢,٤	١٠,٦	١١,٨	٢٤,٠	٩,٧	٢٣,٠	١٤,٣	١٠,٢	٢٣,٠	١٢,٨	٢٥,٥	٨,٣
متوسط الشتاء	٢٠,٤	١٣,١	٧,٢	٢٥,٧	١٠,٣	١٥,٤	٢٣,١	١٠,١	٢٢,٤	١٣,٠	١٠,٨	٢٢,٤	١١,٦	٢٤,٣	٧,٥
مارس	٢١,٩	١٣,٥	٨,٤	٢٥,١	١٢,٢	١٢,٩	٢٧,٣	١١,١	٢٦,٢	١٦,٢	١١,٣	٢٦,٢	١٤,٩	٢٥,٠	١٠,٥
أبريل	٢٥,٠	١٥,٥	٩,٥	٢٩,١	١٤,٣	١٤,٨	٣٢,٣	١٣,٣	٣٠,٧	١٩	١٣,٢	٣٠,٧	١٧,٥	٣٥,٣	١٤,٠
مايو	٢٦,٠	١٧,٩	٨,١	٣٠,٦	١٧,٠	١٣,٦	٣٤,٣	١٦,٣	٣٣,٠	١٨	١٦,٢	٣٣,٠	١٦,٨	٣٧,٨	١٧,٦
متوسط الربيع	٢٤,٣	١٥,٦	٨,٧	٢٨,٣	١٤,٥	١٣,٨	٣١,٣	١٣,٦	٣٠,٠	١٧,٧	١٣,٦	٣٠,٠	١٦,٤	٣٤,٤	١٤,٠
يونيو	٢٦,٨	١٦,٢	٥,٦	٣١,٣	٢٠,٤	١٠,٩	٣٤,٧	١٩,٧	٣٣,٦	١٥	١٩,٧	٣٣,٦	١٣,٩	٣٨,٦	٢٠,٥
يوليه	٢٧,٩	١٤,٠	٣,٩	٣٢,٢	٢٣,٢	٩	٣٤,٨	٢٢,٦	٣٣,٦	١٢,٢	٢٢,٥	٣٣,٦	١١,١	٣٨,٢	٢١,٦
أغسطس	٢٨,٢	١٥,١	٣,١	٣٢,٢	٢٤,٤	٧,٨	٣٤,٥	٢٣,٦	٣٣,٣	١٠,٩	٢٣,٧	٣٣,٣	٩,٦	٣٧,٥	١٩,٩
متوسط الصيف	٢٧,٦	١٣,٤	٤,٢	٣١,٩	٢٢,٧	٩,٢	٣٤,٧	٢٢,٠	٣٣,٥	١٢,٧	٢٢,٠	٣٣,٥	١١,٥	٣٨,١	٢٠,٧
سبتمبر	٢٨,٣	١٤,٢	٤,١	٣١,٧	٢٣,٢	٨,٥	٣٣,٦	٢٢,٣	٣٢,٩	١١,٣	٢٢,٢	٣٢,٩	١٠,٧	٣٦,٨	١٧,٠
أكتوبر	٢٧,٢	١١,٨	٥,٤	٣٠,٠	٢٠,٤	٢,٠	٣٢,١	١٩,٣	٣١,٤	١٢,٨	١٩,٤	٣١,٤	١٢	٣٤,٤	١٢,٧
نوفمبر	٢٥,١	١٨,٢	٦,٩	٢٦,٩	١٦,٥	١٠,٤	٢٧,٩	١٥,٤	٢٧,٢	١٢,٥	١٥,٧	٢٧,٢	١١,٥	٢٩,٣	٨,٨
متوسط الخريف	٢٦,٩	١١,٤	٥,٥	٢٩,٥	٢٠,٠	٩,٥	٣١,٢	١٩,٠	٣٠,٥	١٢,٢	١٩,١	٣٠,٥	١١,٤	٣٣,٥	٢٠,٧
المتوسط العام	٢٤,٨	١٨,٤	٦,٤	٢٨,٩	١٦,٩	١٢	٣٠,١	١٦,٢	٢٩,١	١٣,٩	١٦,٤	٢٩,١	١٢,٧	٣٢,٦	١٨,٨

المصدر: بالاعتماد على بيانات محطات الإرسال الجوية للفترة ما بين ١٩٨١م - ٢٠٢٣م

ويلاحظ الأثر الجيومورفولوجي لتباين قيم الرطوبة النسبية في منطقة الدراسة حيث تعمل على تراكم قطرات الندى حال ارتفاع معدلات الرطوبة ومن ثم إذابة كربونات الكالسيوم الموجودة في المكونات الرملية الشاطئية وتحولها إلى بيكربونات الكالسيوم، مما يؤدي إلى تشكيل تكوينات جيومورفولوجية جديدة، وتظهر أكثر في الصخور الجيرية ومناطق السبخات الملحية، وتُعتبر هذه العملية جزءًا من العمليات الكيميائية الطبيعية التي تحدث في منطقة الدراسة.

جدول (٣) معدلات الرطوبة النسبية في محطات منطقة الدراسة الفترة (١٩٨١-٢٠٢٣م).

الشهر	بورسعيد	دمياط	بلطيم	رشيد	الإسكندرية					
فصل الشتاء	ديسمبر	٦٨.٦	٦٧.٩	٦٧.٥	٦٨.١	٦٧.٨				
	يناير	٦٩.٢	٦٨.٦	٦٨.٦	٦٩.٠	٦٨.٣				
	فبراير	٧١.٤	٦٨.٩	٦٨.٣	٦٨.٥	٦٦.١				
متوسط الشتاء						٦٩.٧	٦٨.٥	٦٨.١	٦٨.٦	٦٧.٤
فصل الربيع	مارس	٧٤.١	٦٨.٨	٦٧.٠	٦٨.٠	٦٣.٩				
	إبريل	٧٧.٢	٦٨.٥	٦٤.٧	٦٥.٧	٥٩.١				
	مايو	٨٠.٣	٦٩.٠	٦٤.١	٦٥.٥	٥٨.٢				
متوسط الربيع						٧٧.٢	٦٨.٨	٦٥.٣	٦٦.٤	٦٠.٤
فصل الصيف	يونيو	٨١.٤	٦٩.١	٦٤.٥	٦٦.٣	٥٩.٥				
	يوليه	٨٢.١	٦٩.٦	٦٦.٠	٦٧.٩	٦١.٩				
	أغسطس	٧٩.٤	٦٩.٤	٦٦.٢	٦٨.٠	٦٣.٠				
متوسط الصيف						٨٠.٧	٦٩.٣	٦٥.٦	٦٧.٤	٦١.٥
فصل الخريف	سبتمبر	٧٥.٢	٦٨.٠	٦٥.١	٦٦.٣	٦٢.٤				
	أكتوبر	٧٢.٦	٦٧.٧	٦٥.٦	٦٦.٦	٦٤.١				
	نوفمبر	٦٩.٤	٦٦.٩	٦٥.٩	٦٦.٨	٦٥.٦				
متوسط الخريف						٧٢.٤	٦٧.٥	٦٥.٥	٦٦.٦	٦٤.٠
المتوسط العام						٧٥.٠	٦٨.٥	٦٦.١	٦٧.٢	٦٣.٣

المصدر: بالاعتماد على بيانات محطات الارصاد الجوية للفترة ما بين ١٩٨١م - ٢٠٢٣م.

(٣) الرياح:

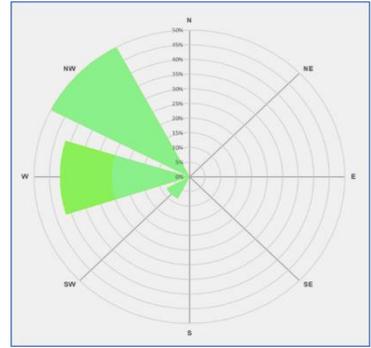
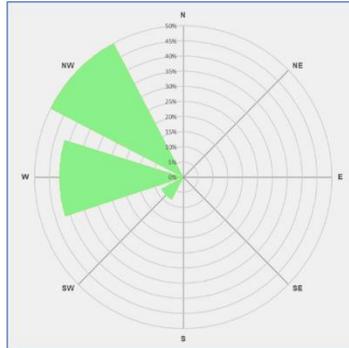
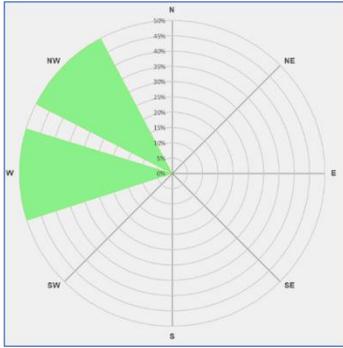
يتضح من جدول (٤) أن أعلى معدل لسرعة الرياح في محطات منطقة الدراسة بلغ نحو ٥.٧ م/ثانية في شهر يناير بمحطة بورسعيد وذلك خلال فصل الشتاء، بينما كان أدنى سرعة في محطة

الإسكندرية، فقد بلغت ٤م/ثانية وذلك في شهر أكتوبر في فصل الخريف، كما يتضح من تحليل الأشكال (٥/أ، ب، ج، د، هـ) أن متوسط سرعة الرياح في محطات منطقة الدراسة تتراوح بين ٤.٢ متر/ثانية لمحطة الإسكندرية و٥.٥متر/ثانية لمحطة دمياط، والاتجاهات السائدة للرياح شمالية غربية مما ينعكس على مدى نشاط العمليات الجيومورفولوجية في منطقة الدراسة، ومع ضحالة مستوى المياه أمام ساحل منطقة الدراسة وبالإشارة إلى سرعتها السابق ذكرها فإن هذا قد يؤدي إلى تكسر الأمواج، مما له تأثير واضح على نحت قاع البحر على مسافة قصيرة من الشاطئ، وبالنظر إلى جدول (٤) وسرعة الرياح التي تتراوح ما بين ١٥-١٨ كم/ساعة يتضح لنا أن متوسط ارتفاع الأمواج في منطقة الدراسة يتراوح بين ١ متر إلى ١.٥ مترًا، ومما سبق يتضح لنا أن سرعة الرياح لا تشكل خطورة وفق مقياس بيفورت (جدول ٥).

جدول (٤) معدلات سرعة الرياح واتجاهاتها في محطات منطقة الدراسة الفترة (١٩٨١-٢٠٢٣م).

الشهر	بورسعيد		دمياط		بلطيم		رشيد		الإسكندرية		
	سرعة م/ث	اتجاه	سرعة م/ث	اتجاه							
فصل الشتاء	ديسمبر	٥.٤	٢٤٩.٨	٥.١	٢٥٩.٥	٤.٩	٢٥٨.٣	٥.٠	٢٨٢.٠	٤.٢	٢٨٧.٤
	يناير	٥.٧	٢٨٤.٧	٥.٥	٢٨٦.٠	٥.٤	٢٨٥.٨	٥.٤	٢٨٥.٤	٤.٥	٢٩١.٩
	فبراير	٥.٦	٢٨٧.٨	٥.٤	٢٨٩.٢	٥.٦	٢٨٧.٨	٥.٥	٢٨٥.٩	٤.٧	٢٩٢.٥
فصل الربيع	مارس	٥.٤	٣١٧.١	٥.٤	٣٠٩.٢	٥.٥	٣٠٧.٠	٥.٣	٣١٣.٣	٤.٦	٣٠٥.٦
	إبريل	٥.٠	٢٨٣.٩	٥.١	٢٧٦.٩	٥.١	٢٩١.٢	٥.١	٢٨٨.٤	٤.٥	٣٢٢.٨
	مايو	٤.٦	٣٢٦.٧	٤.٨	٣٢٨.١	٤.٨	٣٢٢.٧	٤.٨	٣٢٩.٠	٤.٤	٣٢٢.٠
فصل الصيف	يونيو	٤.٤	٣٢٩.٠	٤.٨	٣٣١.٥	٤.٩	٣٢٨.٣	٤.٩	٣٢٥.٦	٤.٥	٣٣٠.٣
	يوليه	٤.٥	٣١٧.٢	٤.٨	٣٢٠.٠	٥.٠	٣١٧.٩	٥.١	٣١٦.٢	٤.٦	٣٢٢.٣
	أغسطس	٤.٣	٣٢٢.٣	٤.٦	٣٢٤.٤	٤.٧	٣٢٢.٠	٤.٨	٣١٩.٧	٤.٣	٣٢٥.٧
فصل الخريف	سبتمبر	٤.٤	٣٢٠.٦	٤.٥	٣٢٢.١	٤.٦	٣١٩.٨	٤.٦	٣٣٤.٤	٤.٢	٣٣٨.٨
	أكتوبر	٤.٧	٢٦٣.٠	٤.٦	٢٥٥.٢	٤.٥	٢٨٧.٢	٤.٥	٣١٠.٢	٤.٠	٣٠٣.٥
	نوفمبر	٥.١	٢٢٤.٩	٤.٨	٢٣٣.٩	٤.٧	٢٤٨.٨	٤.٧	٢٤٦.٠	٤.٠	٢٥٣.٣
المتوسط العام	٤.٩	٢٩٣.٩	٥.٠	٢٩٤.٧	٥.٠	٢٩٨.٩	٥.٠	٣٠٣.٠	٤.٤	٣٠٨.٠	

المصدر: بالاعتماد على بيانات محطات الارصاد الجوية للفترة ما بين ١٩٨١م - ٢٠٢٣م.

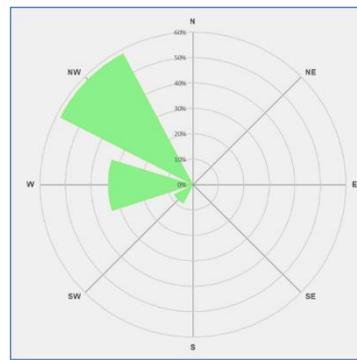
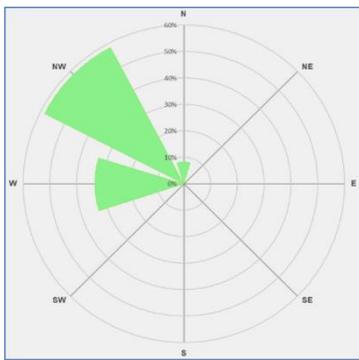


شكل (ج/٥) اتجاهات الرياح وسرعاتها في بلطيم

شكل (ب/٥) اتجاهات الرياح وسرعاتها في دمياط

شكل (أ/٥) اتجاهات الرياح وسرعاتها في بورسعيد

ويتوقف تأثير الرياح في منطقة الدراسة على سرعتها واتجاهها بما يعزز من سرعة تيار الشاطئ وتجفيف الرواسب، وينحصر تأثيرها الجيومورفولوجي في الرواسب المفككة المكشوفة من النباتات التي تسود المنطقة سواء كانت تكوينات طميية أو رملية التي تنتشر بمنطقة الشاطئ، فتعمل على تذرية الرواسب المفككة من سطح الأرض بادئة بالرواسب الدقيقة التي لها قابلية للنقل أكثر من الرواسب الخشنة والأكبر حجمًا، ومن ثم يكون إرسابها في أشكال مختلفة.



شكل (ه/٥) اتجاهات الرياح وسرعاتها في الإسكندرية

شكل (د/٥) اتجاهات الرياح وسرعاتها في رشيد

جدول (٥) مقياس بيفورت وعلاقته بارتفاع الأمواج وحالة البحر.

ارتفاع الأمواج (م)	حالة البحر	صفة الرياح	سرعة الرياح (عقدة)	مقياس بيفورت
صفر	زجاجي	هواء ساكن	أدنى من ١	٠
٠.١ : ٠	مُرْتَعَش	هواء خفيف	٣ : ١	١
٠.٥ : ٠.٢	هادئ	نسيم خفيف	٦ : ٤	٢
١.٢٥ : ٠.٥	خفيف	نسيم لطيف	١٠ : ٧	٣
١.٧٥ : ١.٢٥	مُعتدل	رياح مُعتدلة	١٦ : ١١	٤
٢.٥ : ١.٧٥		رياح نَشْطَة	٢١ : ١٧	٥

المصدر: سعد مصباح ومحمد عبد الرحمن، ٢٠٠٣م، ص ٢٩٠.

ولما كان خط الساحل يعتبر قوسًا كبيرًا متقدمًا في البحر المتوسط الذي يبلغ طوله ٤٧٠.٣ كم بينما الطول المستقيم بلغ ٢٩٨.٥ كم، فقد بلغ أقصى امتداد للقوس داخل البحر نحو ٨٢.٢ كم، وذلك شرق قرية "البرج" بنحو ٩ كم تقريبًا، حيث كان تقدم الدلتا المصرية يؤدي إلى انحراف التيار البحري وذلك قبل بناء السد العالي، ولكن بعد بنائه بدأت العوامل البحرية تؤثر على رؤوس الدلتا المصرية بالنحت المستمر كل عام.

٤) الأمطار:

يلاحظ من تحليل جدول (٦) أن المتوسط العام لكمية الأمطار علي مختلف مواقع منطقة الدراسة بلغ نحو ١٨.١ ملم/سنة في محطة بورسعيد و ٢٤.٤ ملم/سنة في محطة دمياط و ٢٣.٨ ملم/سنة في محطة بلطيم و ٣٤.٧ ملم/سنة في محطة رشيد و ٤٢.٩ ملم/سنة في محطة الإسكندرية، كما اتضح أن هناك تباينًا زمنيًا لهذه المتوسطات على محطات منطقة الدراسة، وأنها اجتمعت كلها علي أن شهر يناير هو الشهر الأكثر تساقطًا للأمطار على جميع محطات الدراسة حيث يبدأ التساقط المطري مع بداية فصل الشتاء في شهر ديسمبر بمعدلات متفاوتة كان أعلاها في محطة الإسكندرية ١٣٧.٦ ملم وأدناها في محطة بورسعيد ٥٤.٣ ملم، كما أتضح ندرة التساقط المطري في أشهر فصل الصيف في جميع المحطات ويعتبر شهر أغسطس أكثر شهور العام جفافًا لانعدام التساقط المطري فيها في جميع مواقع منطقة الدراسة.

جدول (٦) كمية الأمطار بمحطات منطقة الدراسة الفترة (١٩٨١ - ٢٠٢٣م).

الشهر		بورسعيد	دمياط	بلطيم	رشيد	الإسكندرية
فصل الشتاء	ديسمبر	٣٤.٢	٥٤.٣	٥٤.٩	٩٢.٥	١٢١.٣
	يناير	٥٤.٣	٨١.٨	٧٦.٩	١٠.٩	١٣٧.٦
	فبراير	٣١.٥	٤٩.٧	٤٧.٩	٧٠.٧	٨٧.٦
إجمالي التساقط فصل الشتاء		١١٩.٩	١٨٥.٨	١٧٩.٧	٢٧٢.٢	٣٤٦.٥
فصل الربيع	مارس	٢٨.٦	٣٤.١	٣٣.٦	٤٥.٤	٥٢
	إبريل	١٩.٤	١٨.١	١٨.١	٢٠.٧	١٨
	مايو	١.٨	٠.٩	٠.٤	١.٣	١.٨
إجمالي التساقط فصل الربيع		٤٩.٨	٥٣	٥٢.١	٦٧.٤	٧١.٨
فصل الصيف	يونيو	٠.٩	٠.٩	٠.٩	٠.٩	٠.٤
	يوليه	٠.٩	٠	٠	٠	٠.٩
	أغسطس	٠	٠	٠	٠	٠
إجمالي التساقط فصل الصيف		١.٨	٠.٩	٠.٩	٠.٩	١.٣
فصل الخريف	سبتمبر	٠.١	٠	٠	٠.٤	٠.٩
	أكتوبر	١٣.١	١٥.٤	١٦.٢	١٩	٢٣.٧
	نوفمبر	٣٢.٩	٣٧.٩	٣٦.٩	٥٦.١	٧٠.٣
إجمالي التساقط فصل الخريف		٤٦.٢	٥٣.٣	٥٣.١	٧٥.٥	٩٤.٩
المتوسط العام		١٨.١	٢٤.٤	٢٣.٨	٣٤.٧	٤٢.٩

المصدر: بالاعتماد على بيانات محطات الارصاد الجوية للفترة ما بين ١٩٨١-٢٠٢٣م.

ويلاحظ الأثر الجيومورفولوجي لتساقط الأمطار، حيث إنها إذا هطلت بكمية كبيرة تعمل على تشكيل الأخاديد والتجاويف على رمال الساحل، كما تساعد في نقل الرمال وتشكيل تضاريس جديدة على سطح الأرض.

رابعاً - دينامية العوامل الطبيعية:

إذا كانت العمليات الطبيعية مثل التجوية والتعرية تتطلب وقتاً طويلاً ليظهر تأثيرها، فإن البيئة الساحلية بمنطقة الدراسة تشكل نمطاً فريداً، حيث يظهر تأثير عمليات التعرية بشكل ملحوظ في فترة

زمنية قصيرة نسبياً؛ مما يسهل من إمكانية رصدها وتتبعها، وتعتبر السواحل نقاط النقاء اليابسة بالمياه، وهذه المناطق تعتبر من أكثر المناطق نشاطاً في عملية التشكيل التي تتم بواسطة المياه، وبالتالي فهي عرضة للتغير بشكل مستمر، ويتوقف شكل الساحل على تفاعل العديد من العوامل هي:

(١) عمق المياه والأمواج:

يؤثر عمق المياه أمام ساحل منطقة الدراسة بصورة مباشرة على قوة الأمواج، حيث 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 تتراوح الأعماق أمام ساحل منطقة الدراسة فيما بين لا يزيد عن ٥٠ متراً أمام القطاع الأول وحتى مسافة ٥٠ كم من الساحل وكذلك في القطاع الثاني، بينما في القطاع الثالث وصل العمق لأكثر من ٢٠٠ متر علي مسافة ٢٥ كم من الساحل (شكل ٦)، وتنشأ فيه الأمواج وفق المتعارف عليه بفعل العديد من العوامل أهمها الرياح حيث تعمل علي تحريكها وتكوينها، ويبدأ أثر الأمواج في تشكيل خط الساحل في فصل الشتاء من خلال ما تتبعه من عواصف (أحمد العدوي، ١٩٧٣م، ص ١٥٧).



المصدر: بالاعتماد على خرائط الأدميرالية البحرية البريطانية مقياس ١/١٠٠٠٠٠٠.

شكل (٦) مناسيب الأعماق أمام ساحل منطقة الدراسة.

تقوم الأمواج بضرب الساحل بشكل مستمر، وهي تعمل على تشكيل العديد من التأثيرات الجيومورفولوجية على ساحل منطقة الدراسة من أبرزها عملية النحت Corrosion إضافة إلى الاحتكاك أو البري Attrition وأخيراً فعل الإذابة Solution وجميعها تحدث بفعل الرياح بشكل أساسي، مما يؤدي في النهاية إلى نحت الساحل، ويتضح من تحليل جدول (٧) سيادة الاتجاه الشمالي الغربي والشمالي لاتجاهات الأمواج بنسبة ٦٧.٩% مما يعني أنها تصل إلى الشاطئ مائلة

على خط الساحل بزواوية تصل إلى ٣٠، ومن ثم ينتج عن احتكاك الرياح بسطح مياه البحر ذبذبات في جزيئات الماء نتيجة لنقل الطاقة من الرياح إلى الماء داخل منطقة توليد الموجة (صورة ١) ويعتمد مقدار نقل الطاقة علي سرعة الرياح ومدة هبوبها وتشكل الموجات التذبذبية ما يسمى قطارات الموجة، والتي عادة ما يستغرق تولدها ما بين ١٢-٢٤ ساعة وفقاً لسرعة الرياح وزيادة فترات هبوبها، كما أن العلاقة طردية ما بين ارتفاع الموجة وكل من زيادة سرعة الرياح وطول فترتها (Davies, ١٩٨٠, p. ٢٥).



صورة (١) ارتطام الأمواج بالكتل الخرسانية على شاطئ مدينة الإسكندرية، شاطئ جليم.

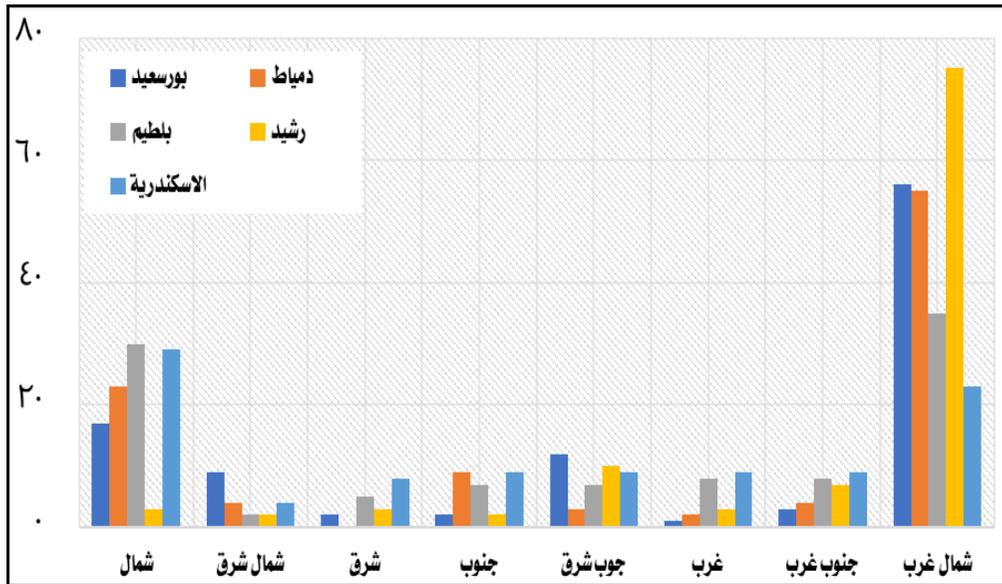
ويتضح من تحليل جدول (٧) وشكل (٧) أن الأمواج الضحلة تتأثر بشكل كبير بطبوغرافية القاع أمام الساحل، حيث تظهر تغيرات، مثل: الانحراف والتكسر مع دخول الأمواج إلى نطاق أقل في العمق الذي يلامس الموجة مع القاع، كما يلاحظ أنه مع تقدم الأمواج نحو الساحل، تلتحق الأمواج السريعة بتلك التي سبقتها، مما يؤدي إلى انخفاض طول الموجة وتقليل حركتها نفسها نتيجة لاستهلاك جزء من طاقتها في نقل الرواسب الشاطئية (طلبة برهام، ٢٠١١م، ص ص ٨٥-٨٦).

وفيما يتعلق بالأمواج المنكسرة، فإن التحول النهائي للموجة العادية بفعل المياه الضحلة إلى أمواج منكسرة يُعتبر خطوة مهمة في العمليات الجيومورفولوجية الساحلية صورة (٢) وصورة (٣) وصورة (٤) فعندما تقترب الموجة من السواحل الضحلة، يتغير طولها ويزيد انحدارها، مما يؤدي إلى تحول في الحركة الدائرية لجزيئات الماء داخل الموجة وبهذا يحدث تكسر للموجة حيث تنهار مقدمتها نتيجة عدم وجود دعامة تدعمها (صبري محسوب، ١٩٩١م، ص ٣٩).

جدول (٧) التوزيع العددي والنسبي لتكرار الأمواج وفقاً للاتجاهات أمام ساحل منطقة الدراسة.

الاتجاه	بورسعيد	دمياط	بلطيم	رشيد	الإسكندرية	الإجمالي	%
شمال	١٧	٢٣	٣٠	٣	٢٩	١٠٢	٢٠٠
شمال شرق	٩	٤	٢	٢	٤	٢١	٤.١
شرق	٢	٠	٥	٣	٨	١٨	٣.٥
جنوب	٢	٩	٧	٢	٩	٢٩	٥.٧
جنوب شرق	١٢	٣	٧	١٠	٩	٤١	٨.١
غرب	١	٢	٨	٣	٩	٢٣	٤.٥
جنوب غرب	٣	٤	٨	٧	٩	٣١	٦.١
شمال غرب	٥٦	٥٥	٣٥	٧٥	٢٣	٢٤٤	٤٧.٩
الإجمالي	١٠٢	١٠٠	١٠٢	١٠٥	١٠٠	٥٠٩	%١٠٠

المصدر: بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي Copernicus للفترة ١٩٩٣-٢٠٢٣م.



المصدر: بالاعتماد على بيانات جدول (٥).

شكل (٧) اتجاهات الأمواج على مواقع مختارة أمام ساحل منطقة الدراسة.



صورة (٢) الأمواج المنكسرة على شاطئ مدينة الإسكندرية، شاطئ العجمي.



صورة (٣) الأمواج على شاطئ مدينة رأس البر، دمياط.



صورة (٤) الأمواج على شاطئ مدينة دمياط الجديدة، دمياط.

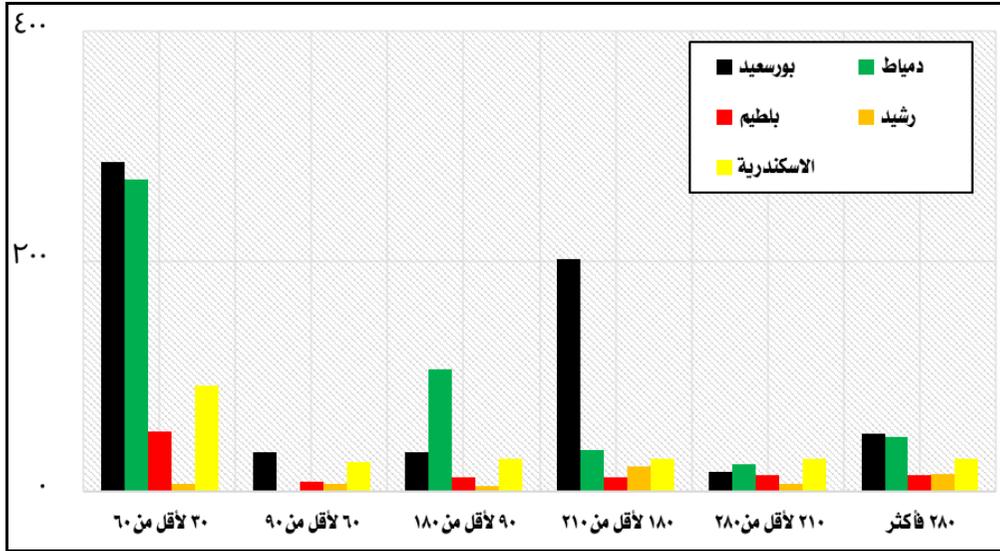
كما تتميز الأمواج بالقرب من ساحل الدلتا بالتكسر الشديد والسريع في فصل الشتاء مما يجعل تأثيرها على الساحل أكثر وضوحاً، حيث تتميز سرعة ترددها وارتباطها بالأمواج القوية التي تعمل بدورها على تجميع المياه قرب الساحل ثم ارتدادها نحو البحر في شكل تيارات شَقِيَّة Rip-Currents (فتحي أبو راضي، ١٩٨٨م، ص ٢٨).

ومن تحليل بيانات جدول (٨) وشكل (٨) يتضح أن أمام بعض المواقع المختارة على الساحل تحتل الأمواج التي يتراوح ارتفاعها بين ٣٠ لأقل من ٦٠ سم المرتبة الأولى بنسبة تكرر ٤٦.٨٪، بينما تأتي في المرتبة الثانية تلك التي يتراوح ارتفاعها ما بين ٩٠ لأقل من ٢٨٠ سم بنسبة ٣٨٪ وتصل نسبة الأمواج التي يزيد ارتفاعها لأكثر من ٢٨٠ سم نحو ١٠.٣٪.

جدول (٨) نسب تكرر الأمواج وفقاً للارتفاعات المختلفة علي ساحل منطقة الدراسة للفترة ١٩٩٣-٢٠٢٣م.

الارتفاع/سم	بورسعيد	دمياط	بلطيم	رشيد	الإسكندرية	الإجمالي	%
٣٠ لأقل من ٦٠	٢٨٦	٢٧١	٥١	٦	٩١	٧٠٥	٤٦.٨
٦٠ لأقل من ٩٠	٣٤	٠	٩	٦	٢٥	٧٤	٤.٩
٩٠ لأقل من ١٨٠	٣٤	١٠٦	١٢	٤	٢٨	١٨٤	١٢.٢
١٨٠ لأقل من ٢١٠	٢٠٢	٣٥	١٢	٢٢	٢٨	٢٩٩	١٩.٩
٢١٠ لأقل من ٢٨٠	١٧	٢٤	١٤	٦	٢٨	٨٩	٥.٩
٢٨٠ فأكثر	٥٠	٤٧	١٤	١٥	٢٨	١٥٤	١٠.٢
الإجمالي	٦٢٣	٤٨٣	١١٢	٥٩	٢٢٨	١٥٠٥	٪١٠٠

المصدر: بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي Copernicus للفترة ١٩٩٣-٢٠٢٣م.



المصدر: بالاعتماد على بيانات جدول (٧).

شكل (٨) معدل تكرار الأمواج وفقاً لمستويات الارتفاع على مواقع مختارة أمام ساحل منطقة الدراسة.

وقد أشار (Fanos, et al., ١٩٩٥, p. ٥٢٦) إلى أن ارتفاع الأمواج في المياه العميقة يتراوح بين ٣.٤ إلى ٦.٨م بفترة تردد ما بين ٦ إلى ١٥ ثانية وذلك على مدى يتراوح ما بين عام إلى خمسين عامًا، وكلما ارتفعت طاقة الأمواج ازداد تأثيرها الجيومورفولوجي وزاوية واتجاه حركتها باتجاه الساحل، ويمكن حساب طاقة الأمواج في منطقة الدراسة من خلال تطبيق المعادلة التالية:

$$E = (1/8) PGH^2$$

حيث إن:

G = ثابت الجاذبية الأرضية.

P: كثافة ماء البحر.

H = ارتفاع الموجة بالمتري لكل متر مربع.

يتم حساب قيمة كل من المتغير P و G وفق للمعادلات التالية:

$$G = 9.81 \frac{m}{Sec^2}$$

$$P = 9.1052 \frac{Kg}{m^3}$$

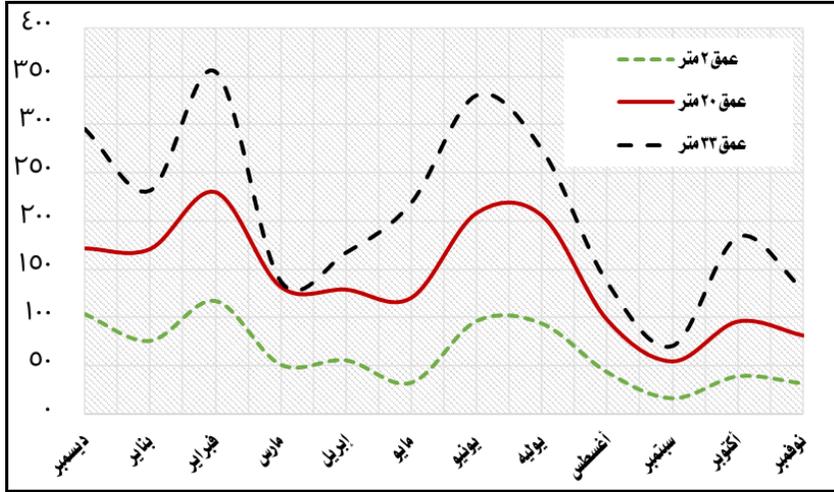
(بهجت إبراهيم، ٢٠١٢م، ص ١٦١).

يتضح من تحليل نتائج تطبيق المعادلة جدول (٩) وشكل (٩) أن طاقة الأمواج علي ساحل منطقة الدراسة تتفاوت من عمق إلى آخر ومن شهر إلى آخر ومن فصل إلى آخر، حيث كانت طاقة الأمواج ترتفع خلال فصل الشتاء حيث سجلت متوسط قدره ٧٧.١ رطل/قدم/ثانية، وذلك على عمق ٢ متر وعلى عمق ٢٠ متر سجلت ١٥٨.٦ رطل/قدم/ثانية وقد يدل ذلك على سيادة عمليات النحت خلال فصل الشتاء عنه في الفصول الأخرى تقريباً، لأنه فصل الأنواء البحرية، بينما على عمق ٣٣ متر سجل فصل الصيف أعلى متوسط في طاقة الأمواج حيث بلغت ٢٢٥.٢ رطل/قدم/ثانية.

جدول (٩) طاقة الأمواج (رطل/قدم^٢/ثانية) في اعماق مختلفة من ساحل منطقة الدراسة

الشهر	عمق ٢ متر	عمق ٢٠ متر	عمق ٣٣ متر
فصل الشتاء	ديسمبر	١٠٣.٥	٢٩٥.٨
	يناير	٧٦.١	٢٣١.٧
	فبراير	١١٧.١	٣٥٥.١
متوسط فصل الشتاء			
فصل الربيع	مارس	٥١.٦	١٣٧.٧
	إبريل	٥٦.٠	١٦٧.٣
	مايو	٣٣.٠	٢١٨.٩
متوسط فصل الربيع			
فصل الصيف	يونيو	٩٦.٤	٣٣٠.٦
	يوليه	٩٣.٨	٢٧٤.٣
	أغسطس	٤٣.٧	١٣٦.٣
متوسط فصل الصيف			
فصل الخريف	سبتمبر	١٧.٠	٧٠.٦
	أكتوبر	٣٩.٦	١٨٣.٨
	نوفمبر	٣٢.٢	١٢٨.٩
متوسط فصل الخريف			
المتوسط العام			
	٧٧.١	١٥٨.٦	٢٢٥.٢

المصدر: ٩٣، ٢٠٠٩، p. Lamiaa Hamoud



المصدر: بالاعتماد على جدول (٨).

شكل (٩) مستويات طاقة الأمواج على أعماق مختلفة من ساحل منطقة الدراسة.

تعمل الأمواج على تقويض خط الساحل بالعديد من الطرق فالكتل المائية المرتطمة لها قوة ضغط كبيرة على الساحل فالأمواج التي يبلغ ارتفاعها ٥.٥م تولد ضغطاً يعادل قوة بلغت ٢٧٥ طن على القدم المربع وهذه الأمواج قادرة على رفع كتلة خرسانية يبلغ وزنها ٥٥ طنًا (محمد البارودي، ٢٠١٨م، ص ٢٩١).

ويلاحظ الأثر الجيومورفولوجي للأمواج عندما تصل إلى السواحل، حيث تبدأ عملية التأثير والتغيير في التضاريس الساحلية عبر النحت، وفيه تعمل الأمواج على نقل الرمال من الساحل عبر عملية الاصطدام المستمر بين الأمواج وخط الساحل، كما يمكن للأمواج أن تنقل الرمال وترسيبها على الشواطئ لتشكل الكتلان الرملية ومن ثم يحدث تعديل لشكل خط الساحل (صورة ٥).



صورة (٥) الاصطدام المستمر بين الأمواج وخط الساحل بشاطئ المعمورة، مدينة الإسكندرية.

٢) مستويات المد والجزر:

يتضح من تحليل جدول (١٠) أن مستويات المد تبلغ أقصاها في بورسعيد حيث بلغت ٠.٧ متراً فقط بينما بلغ أدنى جزر في الإسكندرية حيث بلغ ٠.٠٠٢ متراً، ووفقاً لذلك فإن تأثير حركتي المد والجزر الجيومورفولوجي على سواحل المنطقة أقل بكثير من تأثير الأمواج وتختلف النتائج هنا مع ما أشار إليه (حسن أبو العنين، ١٩٨٩م، ص ٢٣٢) حيث ذكر أن عملية المد والجزر في البحر المتوسط بسيطة جداً ولا يتعدى ارتفاع المد أمام السواحل المصرية بشكل عام لأكثر من ٣٠ سم بفارق ٤٠ سم تقريباً، ويتضح من تحليل جدول (١٠) أن المتوسط العام لأعلى مد على سواحل منطقة الدراسة بلغ ٠.٣٩ متراً فقط وهو بذلك يندرج ضمن نطاقات المد المنخفض التي تقل عن مترين (محمد البارودي، ٢٠١٨م، ص ٢٨٩).

جدول (١٠) مستويات المد والجزر السنوية علي ساحل منطقة الدراسة.

الموقع	مستويات المد/متر		مستويات الجزر/متر	
	أعلى مد	أدنى مد	أعلى جزر	أدنى جزر
بورسعيد	٠.٧٠	٠.٦٠	٠.٤٥	٠.٣٤
دمياط	٠.٣٣	٠.٢٧	٠.١٢	٠.٠١
بلطيم	٠.٣٤	٠.٢٦	٠.١١	٠.٠١
رشيد	٠.٣٠	٠.٢٣	٠.٠٦	٠.٠٠٣
الإسكندرية	٠.٢٦	٠.٢٠	٠.٠٧	٠.٠٠٢
المتوسط العام	٠.٣٩	٠.٣١	٠.١٦	٠.٠٧

المصدر: https://docs.lib.noaa.gov/rescue/data_rescue_egypt.html

ويلاحظ أن الأثر الجيومورفولوجي للمد يكون أكثر تأثيراً في نقل الرواسب والرمال إلى أعماق البحر من الجزر، فعندما تصل الأمواج إلى السواحل تبدأ عملية التأثير والتغيير في التضاريس الساحلية عبر النحت، وفيه تعمل الأمواج على نقل الرمال من الساحل عبر عملية الاصطدام المستمر بين الأمواج وسطح الساحل، كما يمكن للأمواج نقل الرمال وترسيبها على الشواطئ لتشكيل الكثبان الرملية، ومن ثم يحدث تعديل لشكل خط الساحل.

٣) التيارات البحرية:

تعتمد فعالية تأثير التيارات البحرية على اتجاه التيار نفسه بالنسبة لخط الساحل، حيث يكون نحت الساحل أكثر شدة عندما يكون اتجاه التيار متعامداً على الساحل بالإضافة إلى ذلك فهناك عدة عوامل تتحكم في فعالية تأثير التيارات البحرية على السواحل، منها كثافة التيار وملوحته التي تنشأ نتيجة للتبخر الكبير كما يحدث في المناطق المدارية، إلى جانب تأثير دوران الأرض حول نفسها، ومهما كانت هذه العوامل مؤثرة يظل لدى التيارات البحرية تأثير محدود في تشكيل السواحل، حيث إنها عبارة عن أنهار كبيرة من مياه البحار والمحيطات تسير عبرها، ويبقى تأثيرها محدوداً على تشكيل السواحل (حسن سلامة، ٢٠٠٤م، ص ٣٢٣).

تتغير تيارات السواحل في منطقة الدراسة بحسب الفترة الزمنية وتتباين سرعتها وفقاً لاتجاه الرياح خلال شهور السنة، حيث يُعتبر تيار الدفع الساحلي جزءاً من التيار الرئيسي في البحر المتوسط، ويتجه على طول الساحل الأفريقي بعد عبوره لمضيق جبل طارق قادماً من المحيط الأطلسي، ويتبع تيار الدفع الساحلي الاتجاه العام من الغرب إلى الشرق، ويصل إلى السواحل المصرية، ويتميز بسرعه البطيئة التي تتراوح بين ٠.٧٥ إلى ١.٥ كيلومتر في الساعة، مما يقلل من تأثيره كعامل نحت على امتداد ساحل المنطقة، باستثناء بعض المناطق البارزة (وهبه شلبي، ٢٠٠٣م، ص ١٩٣).

وتتراوح سرعة التيار من مصب فرع رشيد وصولاً إلى بورسعيد ما بين ٠.٩ إلى ١.٨ كم/ساعة متأثرة بالرياح الشمالية الغربية في فصل الصيف (هيئة المساحة البحرية، ٢٠٠٥م، ص ١٧٧-١٧٨)، ويمكن تصنيفها إلى:

- تيارات مرتفعة الثبات: بنسبة ٧٥٪ وتظهر في شهور فصل الصيف من كل عام أمام سواحل الدلتا وخاصة في مناطق المياه العميقة وتصل سرعتها إلى ٠.٩ كم/ساعة.
- تيارات منخفضة الثبات: بنسبة تتراوح ما بين ٥٠ إلى ٧٥٪ وهي دائمة طوال العام بالقرب من الشاطئ وسرعتها تتباين من فصل إلى آخر وتتراوح ما بين ٠.٤ - ٠.٩ كم/ساعة ويرجع زيادة سرعتها إلى زيادة نسبة الرياح الشمالية الغربية في فصل الصيف.
- تيارات شاطئية طويلة: تتفاوت سرعتها واتجاهاتها من فصل إلى آخر وهي ترتبط بنشاط الرياح الفصلية التي تدفع الأمواج بصورة مائلة على خط الشاطئ فتتباين اتجاهاتها وفقاً لتوجيه خط الساحل (وهبه شلبي، ٢٠١٢م، ص ٧٨).

وتنشأ التيارات الساحلية عندما تدفع الرياح السائدة مياه البحر على شكل أمواج مائلة نحو خط الساحل بحيث يتحرك الجزء الأكبر بمحاذاة خط الساحل بينما يرجع الباقي على شكل تيار رجعي يتجه بشكل معاكس لاتجاه حركة الموجة الأصلي ويتراوح عرض هذه التيارات ما بين ٣٠-٣٠٠ متر ويعمق لا يتجاوز ٦ أمتار، وهي بطيئة الحركة بشكل عام (محمد البارودي، ٢٠١٨م، ص ٢٩٢).

وهنا يمكن إيجاز الدور الجيومورفولوجي لتيار الدفع الساحلي بمنطقة الدراسة في تغير خط الساحل فيما يقوم به من نقل للمواد المفككة بمحاذاة الساحل حيث تعمل التيارات الطولية الساحلية فيما يطلق عليه الانجراف الطولي الساحلي الذي يحدث عندما تضرب الأمواج خط الساحل عند زاوية ٣٠ كما سبق وأن ذكرنا على تهيئة الفرصة لعوامل التعرية البحرية الأخرى ممثلة في الأمواج وحركتي المد والجزر للقيام بعملية النحت والإرساب على طول ساحل منطقة الدراسة، كما يقوم نفس التيار بدور إرسابي في المناطق التي تتميز بالتغير في الاتجاه العام لخط الشاطئ فيتترك حملته من الرواسب والمواد المفككة في أشكال متنوعة مثل البلاجات Beach Profile الحواجز Bars والأسنة والرؤوس Spits and Forelands بالإضافة إلى المسننات الساحلية Beach Cusps كما في منطقة ساحل دمياط الجديدة وشمال بطيم وغرب رشيد.

ومن خلال الاعتماد على الدمج بين نماذج الارتفاعات الرقمية DEM لمنطقة الدراسة ونطاقات النحت والإرساب، ولما كانت الرياح السائدة هي الشمالية الغربية فإنه ينتج عنها تيار دفع على طول الشاطئ يؤدي إلى زحزة الرواسب باتجاه الشرق والتي قدرت بنحو ٣.٤ مليون م^٣ في السنة ما بين ١.٨ مليون م^٣ في المتوسط يلقبهم التيار في البحر كأحد نواتج عملية النحت و ١.٥ مليون م^٣ يرسبهم البحر على الشاطئ في شكل أشكال إرساب متعددة.

٤) تغيرات مستوى سطح البحر:

يعتبر تغير منسوب سطح البحر تهديداً بارزاً وغير مباشر لمنطقة الدراسة، حيث يظهر أن مستوى سطح البحر في منطقة البحر المتوسط يتعرض للعديد من التغيرات، سواء بارتفاع المياه أو انخفاض منسوبها، مما يؤدي إلى العديد من التأثيرات الجيومورفولوجية على خط الشاطئ، ويتوقف هذا التأثير على مدي التغير في مستوى المياه تقدماً وتراجُعاً خلال فترات زمنية متباينة، وهو ما يؤدي إلى تغيرات في شكل خط الساحل، وتأثير هذه التغيرات يتضح في انحسار وتقدم خط الساحل، حيث يُشير ذلك إلى أن عمليات النحت والإرساب تحدث نتيجة لتأثير العوامل البحرية، فيمكن أن يتسبب ارتفاع منسوب المياه في تآكل السواحل، في حين يساهم انخفاضه في عمليات الرسوب وتكون الشواطئ، حيث إن فهم هذه العمليات البيئية يعتبر أمراً حيوياً لفهم تأثيرات تغيرات منسوب سطح البحر على البيئة الساحلية وتكوين الشواطئ، في خلال الفترة ما بين ١٩٨٦-٢٠٠٦م تعرض

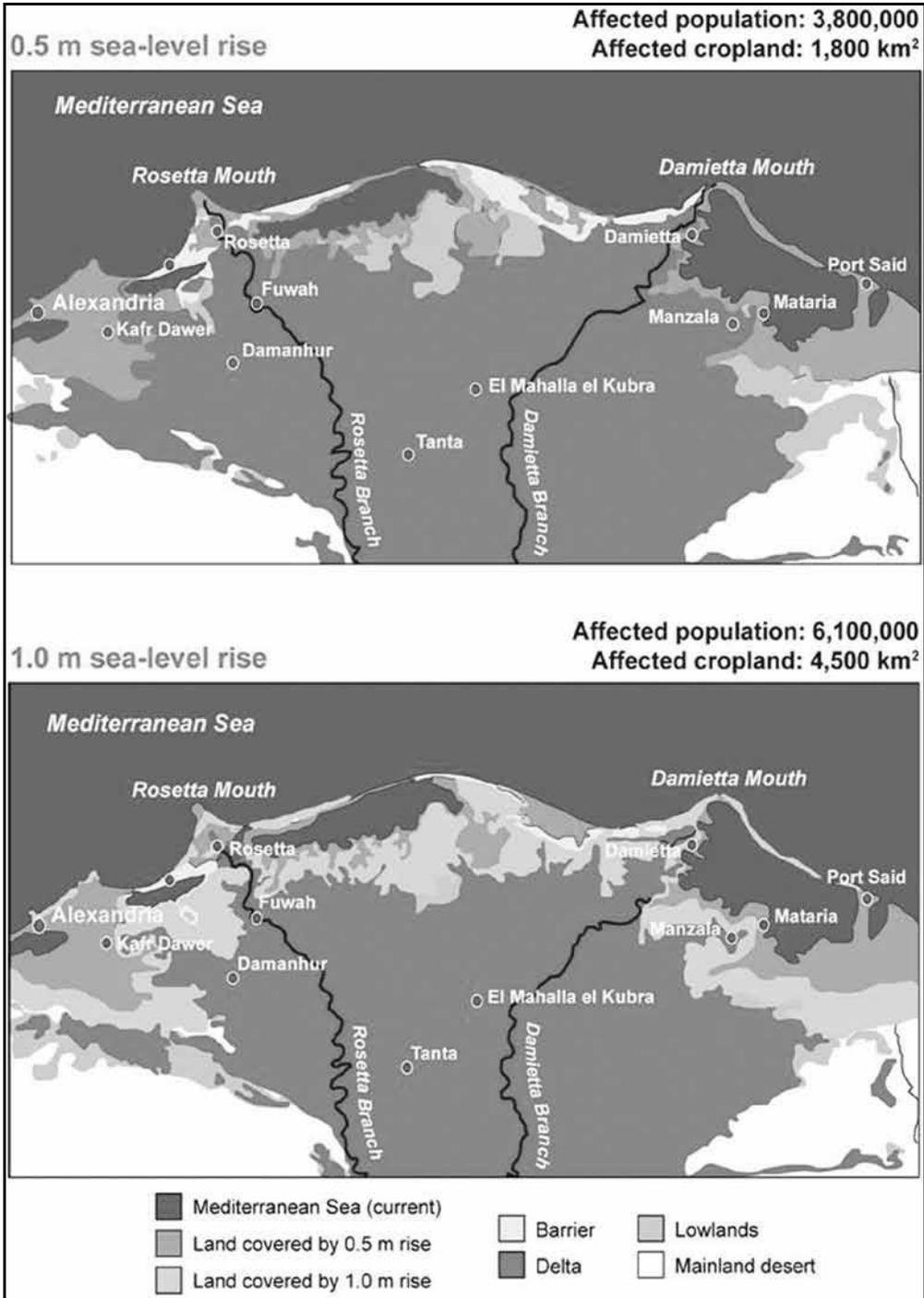
منسوب سطح البحر المتوسط إلى العديد من التغيرات في منسوب سطح البحر حيث ازداد منسوب المياه بمعدل يتراوح ما بين بضع ملليمترات الي ٩.٣ ملليمتر/سنة (Daniel, ٢٠٠٧, p. ٨)، ومع أي تغير في منسوب سطح البحر يصاحب تغير في خط الشاطئ بالمنطقة، ويحدث تذبذب مستوي سطح البحر لما يلي :

- **التغيرات التكتونية:** وهي تلك التي تحدث في مستوي سطح البحر نتيجة الحركات التكتونية التي تؤثر في القشرة الأرضية سواء على اليابس أو تحت الماء وهي تنقسم إلى تغييرات سالبة وموجبة، الأولى تؤدي إلى ارتفاع مستوي قاع البحر بشكل تدريجي (اسلام أحمد، ٢٠٢٢م، ص ٢٦).

- **حركة الهبوط الأرضي:** التي أصابت الدلتا المصرية سواء بفعل تراكم الرواسب أو البنية الجيولوجية التي تزيد من حدة تراجع خط الساحل (وهبه شلبي، ٢٠١٢م، ص ٧٥).

- **التغيرات المناخية:** تعد منطقة الدراسة من أكثر المناطق علي ساحل البحر المتوسط تأثراً بتغير مستوي سطح البحر لانخفاض منسوبها نتيجة لتغيرات المناخية وبشكل عام التغيرات المناخية المتمثلة في التغيرات التي تحدث في مستوي سطح البحر نتيجة انصهار الجليد على اليابسة نتيجة لارتفاع درجات حرارة الغلاف الجوي، حيث قدر بعض العلماء أن متوسط حرارة الأرض سيزداد مع حلول عام ٢٠٥٠م بقيم حرارية مرتفعة تتراوح ما بين درجة واحدة إلى ثلاث درجات مما يؤدي إلى ارتفاع منسوب سطح البحر بما يتراوح ما بين ٢٠ إلى ٣٠ سم ومن الجدير بالذكر أن ارتفاع منسوب سطح البحر (١سم) يؤدي إلى تآكل الشواطئ الرملية أو الطينية، كما يشير تقرير الهيئة الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC أن دلتا نهر النيل من أكثر مناطق العالم تعرضاً للأثار السلبية الناجمة عن تغير المناخ، حيث تأتي الدلتا المصرية في المرتبة الثانية على مستوي العالم بعد دلتا نهر الجانج (IPCC, ٢٠٠٧, p. ٣٣)، وقد أشار (David & Amit, ٢٠١٠, p. ٣٤) إلى أن شمال الدلتا المصرية يتعرض لارتفاع منسوب مياه البحر المتوسط بما يعادل ٢م/سنة تقريباً وذلك بفعل التغيرات المناخية وارتفاع قيم درجات الحرارة العالمية كما هو موضح بشكل (١٠). الاحتمالية الاولى هي تواجهه المنطقة ارتفاع مستوي منسوب سطح البحر والذي يصل الي حوالي ٥٠سم بمساحة قدرها حوالي ١٨٠٠ كم^٢ مما يؤثر ذلك اكثر من ٣.٨٠٠.٠٠٠ نسمة من سكان منطقة الدراسة.

الاحتمالية الثانية من ارتفاع منسوب سطح البحر هو ارتفاع المنسوب الي واحد متر ويغطي منطقة قدرها ٤.٥٠٠ كم^٢ ويصل عدد السكان المتأثرين بهذا الارتفاع في المنسوب الي أكثر من ٦ مليون نسمة. هذا بالإضافة الي الاضرار والفقد في الموارد الطبيعية والبشرية والمناطق العمرانية بالمنطقة.



المصدر: (FitzGerald, et al. ٢٠٠٨)

شكل (١٠) التأثيرات المتوقعة لارتفاع مستوى سطح البحر لسيناريوهين على منطقة دلتا نهر النيل.

٥) مؤشر تعرج خط الساحل Sinuosity Index:

بلغ إجمالي طول خط الساحل في منطقة الدراسة نحو ٤٧٠.٢ كم ومع شدة تعرجه كان من الضروري معرفة أي قطاعات ساحل منطقة الدراسة أكثر تأثراً بالعوامل التي تؤثر في مقدار تغيره، وعليه فقد تم تطبيق مؤشر تعرج خط الساحل والذي أشار إليه (Mueller, ١٩٦٨):

$$\text{مؤشر التعرج} = (\text{المسافة الفعلية} / \text{الطول المستقيم}).$$

وجدير بالذكر أنه كلما قلت قيمة المؤشر واقتربت من ١.٥ كان ذلك دليلاً على ميله للاستقامة بينما إذا ارتفعت قيمته عن ذلك كان ذلك دليلاً على وجود الكثير من الانحناءات في خط الساحل ويلاحظ من خلال تطبيق المعادلة السابقة والنتائج الموضحة بجدول (١١) مدى اقتراب القطاع الأول الذي ينحصر فيما بين (بورفؤاد/دمياط) من الخط المستقيم حيث سجل قيمة بلغت ١.٤٨ بينما كان القطاع الثالث الذي ينحصر فيما بين (رشيد /مدينة الحمام) أكثرهم تعرجاً بقيمة ١.٥١.

جدول (١١) مؤشر التعرج لخط الساحل في قطاعات منطقة الدراسة

التصنيف	معدل التعرج	الطول المستقيم/كم	الطول الفعلي/كم	القطاع
متعرج	١.٤٨	٥٦.٥	٨٣.٤	القطاع الأول
متعرج	١.٢٧	١٤١	١٧٩.٤	القطاع الثاني
شديد التعرج	١.٨٢	١١٣.٧	٢٠٧.٤	القطاع الثالث
متعرج	١.٥١	٣١١.٢	٤٧٠.٢	الإجمالي

المصدر: بالاعتماد على نتائج تحليل صورة القمر الصناعي Sentinel-٢ بدقة وضوح ١٠ متر.

خامساً - خصائص التربة:

يهتم الجغرافي بدراسة خصائص التربة للتعرف على نوعية العلاقات المتبادلة بين تلك الخصائص كما تختلف وتتباين احجام المواد والمفتتات التي تتكون منها الرواسب الشاطئية من مكان الي اخر ويعود السبب في هذا الي مدي قدرة المياه علي حمل الرواسب وهي تتناسب طردياً مع سرعة المياه، وكلما تناقصت سرعة المياه ترسب حجم معين من الحبيبات دون الأخرى في شكل طبقة من الرواسب تتقارب احجام حبيباتها وفق مستوي السرعة التي ترسب عندها هذه الحبيبات (إبراهيم علي عبيدو، ١٩٨٢م، ص ٤٩).

لذا تم القيام بأعمال الدراسة الميدانية وفقاً لنتائج تحليل صور الأقمار الصناعية وتتبع مناطق النحت والإرساب وتم جمع (٥) عينات من مواقع مختلفة علي ساحل منطقة الدراسة علي عمق يتراوح بين ٣٠ الي ٥٠ سم من سطح التربة تعبر عن خصائص التربة في كل من مناطق النحت والأرساب بهدف التعرف علي خصائص الرواسب ومعرفة دورات الترسيب وظروف بيئة الترسيب وقد روعي في اختيار العينات التنوع المكاني، حيث تم تحضير عينات التربة المجمع للتحليل الكيميائي وتجفيفها بالهواء، وسحقها، ونخلها عبر منخل ٢ مم، وحفظها في أوعية بلاستيكية للتحليل في المختبر، تم إجراء توزيع حجم حبيبات التربة من العينات بحالتها الطبيعية بواسطة طريقة "النخل الجاف"، ويوضح جدول (١٢) نتائج خصائص التربة علي ساحل منطقة الدراسة وكذلك القيم المتوسطة لعينات لمنطقة الدراسة والتي تم تقديرها للمساعدة في المقارنة وتفسير خصائص التربة وذلك علي النحو التالي:

قوام التربة Soil Texture:

وهي تعني التوزيع الحجمي لحبيبات التربة^(*) المعدنية ويقصد بها أحياناً التناسق النسبي بين الأحجام المختلفة للحبيبات التي تتكون منها التربة، والتي لا تتضمن عادة المواد الخشنة جداً التي يزيد حجمها على (٢ مم) (علي حسين الشلش، ١٩٨١، ص ٥٤). ويعبر عنه بالتحليل الميكانيكي (Mechanical analysis) ويعد دليلاً مهماً على فهم العديد من خواص التربة يضاف الى ذلك تحديد الصفات الأخرى للتربة والمتمثلة في التهوية والمسامية وسرعة نفاذية الماء في التربة وقابلية التربة على الاحتفاظ بالماء (Water Holding Capacity)، ويوضح جدول (١٢) تبايناً واضحاً في نسب الحبيبات واحجامها واشكالها مما ادى ذلك إلى تباين في نوعية الاراضي.

وبذلك تختلف الاراضي تبعاً لنوعية قوامها التي تعد دليلاً يستدل من خلاله لتحديد نوعية تلك الاراضي حيث تحدد أحجام الحبيبات المعدنية نوعية قوام التربة على ضوء مكوناتها من هذه الحبيبات، وعلى الرغم من أن قوام التربة تكاد تكون متشابهة في صفاتها العامة من حيث كونها ذات نوع "طينية رملية" إلا إننا نجد هنالك تفاوت في نسب الرمل والصلت والطين وذلك راجع لعوامل الترسيب التي تؤدي إلى الإضافات المستمرة إلى الطبقة السطحية للتربة، حيث أتضح أن نسبة الرمل والغرين والطين في الموقع (١) (٧٨.٣٪، ٤.٦٪، ٨.١٪) وبلغت في الموقع (٥) على التوالي (٧٥.٧٪، ١٣.٣٪، ١١٪) علي التوالي.

(*) التوزيع الحجمي لحبيبات التربة (Particle size Distribution) هو عبارة عن حبيبات التربة المعدنية المتمثلة في الطين (Clay)، الصلت (Silt) والرمل (Sand).

كما يلاحظ من تحليل جدول (١٢) ارتفاع نسبة الطين في كل من الموقع (٤) و(٥) وهما علي شاطئ رأس البر بسبب تيار المياه الخارج من بحيرتي ادكو والبرلس بالرواسب المحمولة والتي يدفعها تيار مضيق جبل طارق الي الشرق ادي الي زيادة نسبة السلت والطين في الرواسب الشاطئية في هذا الاتجاه بينما علي العكس تماما العينة رقم (٣) في الإسكندرية التي بلغت نسبة الطين فيها ٦.٥٪ لبعدها عن مصب فرع رشيد وما يحمله من رواسب طينية إضافة الي وبشكل عام وبناء علي ما سبق بلغ متوسط نسبة الرمل الخشن بنسبة ٦١.٢٦٪ بينما بلغت نسبة الرمل الناعم ٢٠.٦٢٪ من إجمالي حجم العينات المدروسة، كما يرجع التباين في أحجام الرمال إلى تباين سرعة التيار المائي على طول ساحل منطقة الدراسة، فكلما كان التيار المائي سريعاً ساعد ذلك على حمل الرواسب الناعمة إلى مسافات بعيدة وارساب الحبيبات الخشنة التي يعجز عن حملها.

جدول (١٢) تصنيفات التربة وفقاً لخصائصها الحجمية.

م	الموقع	الرمال %		الطين %	الغرين %	نوعية التربة
		الناعم	الخشن			
١	بورفؤاد	٦٣.٤	٢٣.٩	٨.١	٤.٦	تربة لوميا رملية
٢	بورسعيد	٦١.٩	٢٣.٨	٧.٢	٧.١	تربة لوميا رملية
٣	الاسكندرية	٦٤.٤	٢٠.٦	٦.٥	٨.٥	تربة لوميا رملية
٤	رأس البر	٦١.١	١٤.٦	١٠.٥	١٣.٨	تربة رملية لومية
٥	رأس البر	٥٥.٥	٢٠.٢	١١	١٣.٣	تربة رملية لومية
	المتوسط	٤٨.٥٨	١٥.٨٤	٧.٠٤	٨.٥٤	

المصدر: الدراسة الميدانية، تحليل عينات التربة بمواقع منطقة الدراسة.

كما تم دراسة الخصائص الكيميائية من خلال التطرق إلى محتوى التربة من معدل التوصيل الكهربائي Ec نسب كربونات الكالسيوم الكلية (CaCO_3) وكبريتات الكالسيوم (الجبس: CaSO_4) ومقدار درجة تفاعل التربة (pH) بالإضافة إلى محتوى التربة من الأيونات الموجبة (الكاتيونات Cations) والمتمثلة في الكالسيوم (Ca) والمغنيسيوم (Mg)، الصوديوم (Na) والبوتاسيوم (K) وكذلك الأيونات

السالبة والمتمثلة في الكلوريد (Cl)، الكبريتات (SO₄)، البيكربونات (HCO₃) والكربونات (CO₃) في محلول التربة والتي يمكن ايجاز نتائجها علي النحو التالي:

١- مؤشر درجة تفاعل التربة pH^(*): زيادة تركيز ايون الهيدروجين له تأثير كبير علي مكونات التربة ولاسيما المعادن الطينية اضافة الي تجوية المعادن وبالتالي زيادة نوبان الكثير من الايونات مثل "Ca و Mg"، وقيم هذا المؤشر تتراوح ما بين ٧.٧١ في شاطئ بورسعيد و٨.١٨ في شاطئ المعمورة بمدينة الإسكندرية وهي بشكل عام تعتبر مرتفعة وتعتبر التربة في هذا المؤشر تقع ما بين التربة المتعادلة والمتعادلة القاعدية وهذا التفاوت بسبب اختلاف قوام التربة والملوحة ووجود أيونات الصوديوم بتركيزات عالية، حيث تعتبر التربة ذات بناء ردي لأن الصوديوم كاتيون احادي يعمل علي تفريق حبيبات التربة بعكس الكالسيوم كاتيون ثنائي الذي يعمل علي تجميعها (وليد خالد العكدي، ١٩٨٦م، ص ٢٤٣-٢٤٤).

جدول (١٣) نتائج التحليل الكيميائي للعينات

المتوسط العام	٥	٤	٣	٢	١	العناصر / الموقع	
	رأس البر (نطاق نحت)	رأس البر (نطاق ارساب)	الاسكندرية (نطاق ارساب)	بورسعيد (نطاق نحت)	بورفؤاد (نطاق ارساب)		
٢٢.٦	٢٨.٨	٣٠.٥	٦.١٧	٣٣.٨	١٣.٥	Ec	
٧.٨	٧.٨١	٧.٧٨	٨.١٨	٧.٧١	٧.٧٢	pH	
٤٤.٦	٥٥.٣	٥٨.٣	١٠.٢	٦٥.٧	٣٣.٧	الكاتيونات الذائبة	Ca
٣٣.٣	٤٠.٤	٤٤.٢	٨	٤٨.٥	٢٥.٥		Mg
١٤٧.٨	١٩٣	٢٠.٤	٤٣.٣	٢٢٤	٧٤.٩		Na
١.٢	١.٣	١.٥	٠.٥	١.٨	٠.٩		K
١٤٠.٦	١٨١	١٨٣	٤١.٢	٢١٦	٨١.٦	الانيونات الذائبة	Cl
٥٦.٠	٧٢.٥	٨٥.٣	١٢.٢	٧٩.٤	٣٠.٨		SO ₄
٢٨.٧	٣٧	٣٩.٧	٨.٦	٣٥.٦	٢٢.٦		HCO ₃ - CO ₃
١٧.٧	٢٢.١	١٠.٣	٢٩.٧	٢٦.٤	٣١.٧	%CaCo	

المصدر: الدراسة الميدانية، تحليل عينات التربة بمواقع منطقة الدراسة.

(*) تم قياس درجة تفاعل التربة في محلول مكون من التربة والماء بنسبة ١:١ باستعمال جهاز pH-Meter من طراز Lovibond - pH ٢٠٠ وهو عبارة عن اللوغاريم السالب لتركيز ايونات الهيدروجين النشطة في محلول التربة.

٢ - **Electrical Conductivity واختصاراً (EC)**^(*): تعتمد الفكرة الأساسية لتقدير الأملاح بطريقة قياس درجة التوصيل الكهربائي علي أن وجود الأيونات في الماء او المحاليل يؤدي الي مرور التيار الكهربائي، فقد وجد ان درجة التوصيل الكهربائي للماء المقطر صفر وعلي ذلك فوجود الأيونات او الاملاح بالمحلول هو الذي يؤدي الي مرور التيار. وذلك علي اساس ان المحلول الارضي به املاح تجعل له القدرة علي توصيل التيار الكهربائي. وتتوقف درجة التوصيل الكهربائي للمحاليل علي عدد الأيونات وسرعة كل منها فكلما زاد عدد الأيونات او سرعتها كلما زادت درجة التوصيل الكهربائي ووفقاً لنتائج تحليل العينات جدول (١٣) تتراوح قيمة هذا المؤشر ما بين ٦.١٧ في موقع (١) و ٣٣.٨ في الموقع رقم (٢) وهي وفقاً لهذه النتائج تصنف تربة المنطقة ضمن التربة شديدة الملوحة جداً ، وجدير بالذكر ان زيادة معدلات النحت في المنطقة يزيد من تركيز الأملاح في التربة بسبب دخول مياه البحر المالحة إلى المناطق الداخلية، مما يرفع من درجة التوصيلية الكهربائية، كما هو الحال في المواقع رقم (٢) و (٤) و (٥) بينما العكس في مناطق الترسيب حيث تقل فيها ملوحة التربة من خلال ترسيب حبيبات الطين التي تحبس الأملاح وتقلل من نفاذيتها كما هو الحال في الموقع رقم (٣).

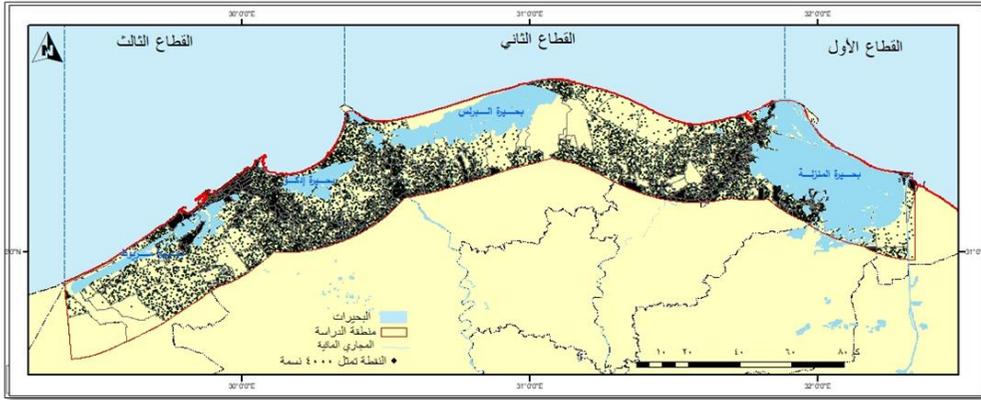
٣ - **كربونات الكالسيوم $CaCO_3$** : يعد ملحاً ذا حامض خفيف حامض الكربونيك (H_2CO_3) وعندما تذوب كربونات الكالسيوم بالماء فإنها تسيطر على تحلل الماء بوساطة القاعدة القوية وذلك بإنتاج أيون (OH) والمحصلة تكون زيادة درجة تفاعل التربة (نصر عبد السجاد الموسوي، ٢٠٠٥م، ص ٢٣٠). ومما تجدر الإشارة إليه أن لوجود كربونات الكالسيوم في التربة أهمية كبيرة في تحديد بعض الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة إذ تعمل على التقليل من نفاذية التربة وكذلك خفض السعة التبادلية الكاتيونية كما إن وجودها في التربة الناعمة القوام أكثر مما هو في التربة الرملية الخشنة القوام (راضي كاظم الراشدي، ١٩٨٧م، ص ١١٥) ووفقاً لنتائج تحليل العينات جدول (١٣) تتراوح قيمة هذا المؤشر بالمواقع المدروسة ميدانياً ما بين ١٠.٣ في الموقع رقم (٤) و ٣١.٧ بالموقع رقم (١) وذلك يدل علي تصنيف التربة في المنطقة ما بين الضعيفة الكلسية والمعتدلة الكلسية.

(*) هو عكس المقاومة الكهربائية، وقد تم قياس درجة التوصيل الكهربائي EC في مستخلص عجينة التربة المشبعة باستعمال جهاز Ec-Meter من طراز Lovibond - Con ٢٠٠ وذلك عند درجة حرارة ٢٥°م

٤ - الكاتيونات والأنيونات الذائبة: زيادة تركيز الكالسيوم والمغنيسيوم في التربة المترامية بالقرب من الساحل في ٨٠٪ من المواقع نتيجة لانحلال المعادن النقية وتراكمها على مدى فترات زمنية طويلة، حيث بلغ متوسط تركيزات Ca و Mg في التربة المترامية Ca نحو ٤٤.٦، و Mg ٣٣.٣، كما يلاحظ ارتفاع تركيز الصوديوم Na في التربة المتأكلة بفعل تسرب المياه البحرية والعمليات الكيميائية، حيث بلغ متوسط تركيزات Na في التربة المتأكلة نحو ١٤٧.٨، وكذلك زيادة تركيز كل من الكلوريد (Cl)، الكبريتات (SO₄)، البيكربونات (HCO₃⁻) والكربونات (CO₃²⁻) بفعل تسرب المياه البحرية والعمليات الكيميائية المترافقة بتكوين التربة الساحلية، حيث سجل متوسط تركيزات Cl و SO₄ و HCO₃⁻ في التربة المتأكلة ١٤٠.٦ و ٥٦ و ٢٨.٧ علي الترتيب.

سادساً - العوامل البشرية المؤثرة في تغيرات خط الساحل:

أظهرت الدراسة أن المنطقة الساحلية مستغلة على نطاق واسع ومكتظة بالسكان حيث تقع أكثر من ٦٠٥ منطقة عمرانية من مدن وقرى شكل (١١) ويقطنها أكثر من ١٢ مليون نسمة بمتوسط كثافة ١٠٣ فرد/كم^٢ ويستمر في الزيادة بمعدل نمو ٢.١٪ سنويا (التعبئة العامة والإحصاء، ٢٠١٧) مثل هذه الزيادة السكانية أدى إلى توسع حضري هائل في منطقة الدراسة خاصة في العقدين الأخيرين. إذ يعود ذلك عادةً إلى مواقعها الإستراتيجية وتعدد ثرواتها من الموارد الطبيعية، بما في ذلك المياه العذبة والأراضي الزراعية والأماكن السياحية والثروات المعدنية (خاصة الغاز الطبيعي والبتترول في نطاق كل من ساحل بورسعيد ودمياط وكفر الشيخ والإسكندرية) والمزارع السمكية، إذ ساعدت تلك الموارد الطبيعية في المنطقة الساحلية إلى جذب السكان والجهات الحكومية لإقامة مشاريع تنموية مختلفة. وقد أدى هذا إلى التدخل البشري في هذه المناطق، الأمر الذي أدى إلى تغييرات بمنطقة خط الساحل أو اضطراب في معدلات التغير بفعل العمليات الجيومورفولوجية الساحلية، حيث تم تحديد نطاقات الأماكن التي حدث بها تغير سواء كانت مدناً عمرانية جديدة أو مزارع سمكية، أو أراضي زراعية، أو شبكة طرق، بالإضافة إلى تأثر البحيرات بالأنشطة البشرية المختلفة سواء بغرض حمايتها وتميها أو غير المنظمة للتعدي عليها.

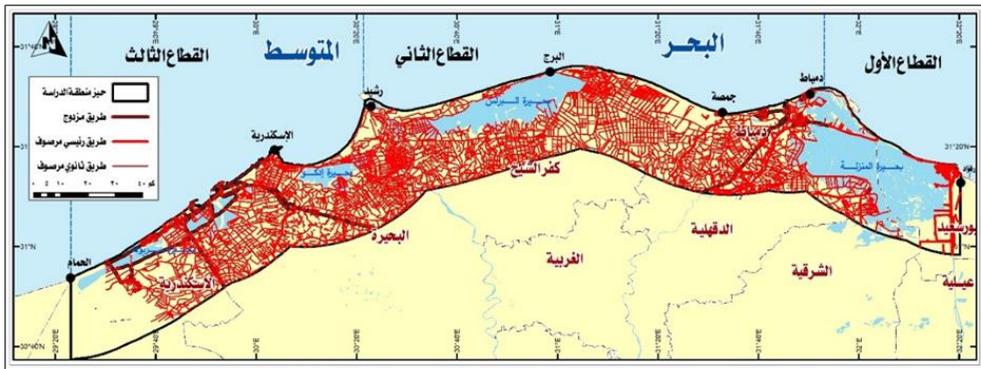


المصدر: التعبة العامة والإحصاء، ٢٠١٧.

شكل (١١) توزيع السكان علي مستوي التجمعات العمرانية بمنطقة الدراسة.

(١) الطرق:

أظهرت البيانات أن الطول الإجمالي لشبكة الطرق قد ازداد بنسبة ٩٢٪ في عام ٢٠٢٣م حيث بلغ (٥١٣٥٦.٨٧ كم) عما كان عليه عام ٢٠٠٣م (٣٦٠٨.٦ كم) بمعدل نمو بلغ نحو ٣٩٢ كم/سنة خلال العقدين الأخيرين (شكل ١٢).

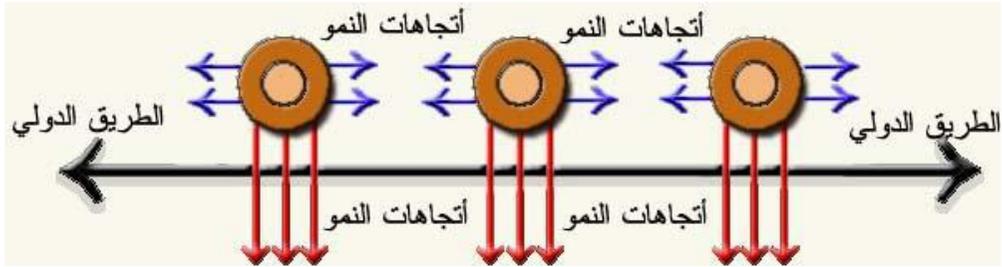


المصدر: الخرائط الطبوغرافية مقياس رسم ١: ٥٠.٠٠٠٠.

شكل (١٢) شبكة الطرق بمنطقة الدراسة.

تلك الزيادة الكبيرة ناتجة عن ارتفاع معدلات النمو العمراني وزيادة الأنشطة البشرية المختلفة بفعل اتجاهات التنمية الحضرية التي شهدتها منطقة الدراسة، كما أن هناك طرقاً ساعدت أيضاً علي زيادة التوسع والنمو العمراني وزيادة المزارع السمكية مثل ما هو موجود على جانبي الطريق الساحلي

الدولي الذي يربط بين الساحل الشمالي بسيناء شرقاً حتى مرسي مطروح غرباً والذي يصل طوله إلى ١٠٥٠ كم وبالذلتا يصل طوله إلى ٢٨٠ كم وعلي الرغم من أهمية هذا الطريق إلا أنه يحتاج إلى العديد من اعمال الصيانة وزيادة أعداد الخدمات على طول هذا الطريق شكل (١٣/أ، ب).



شكل (١٣/أ) تأثير الطريق الدولي على زيادة نمو المدن القائمة بمناطق البحر المتوسط في كل الاتجاهات.



المصدر: وزارة الاسكان والمرافق والمجمعات العمرانية، الهيئة العامة للتخطيط العمراني، "المخطط الإقليمي لتنمية الساحل الشمالي" - ١٩٩٢م.

شكل (١٣/ب) تأثير الطريق الدولي على زيادة تداخل الأنشطة الاقتصادية في التجمعات العمرانية مع الطريق.

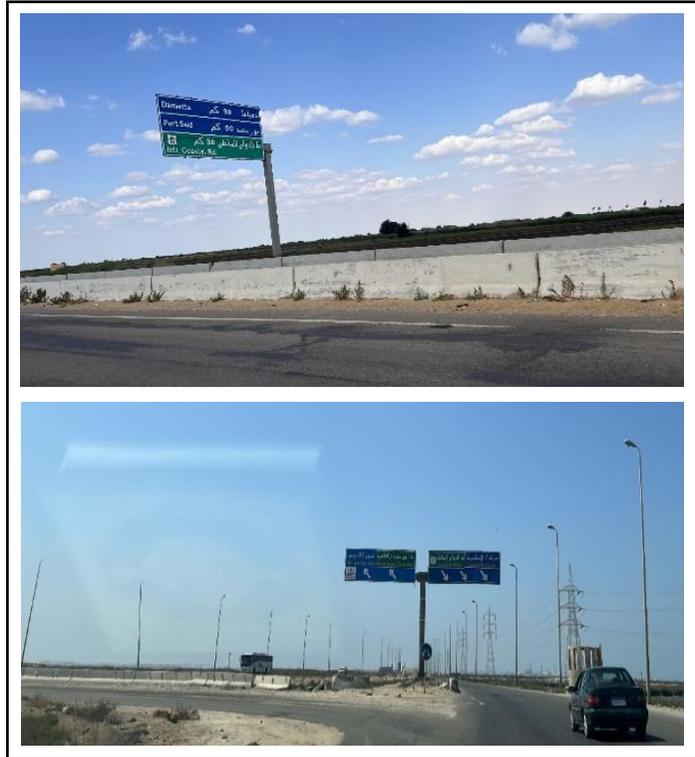
ساعد الطريق الساحلي الدولي علي زيادة التوسع في النمو العمراني سواء بالتوازي مع طول الطريق أو على شمال وجنوب الطريق، وإنشاء المدن الجديدة مثل : مدينة دمياط الجديدة ومدينة المنصورة الجديدة، بالإضافة إلى المناطق الصناعية الأخرى، مثل: مصنع الرمال السوداء في شمال بحيرة البرلس والمنطقة الصناعية بكفر الشيخ، علاوة على التوسع في إنشاء المزارع السمكية مثل: المزارع السمكية ببركة غليون بالقرب من راس رشيد حيث تحويل الأراضي الرملية والرطوبة إلى مزارع سمكية أيضاً تحويل الأراضي الرملية والرطوبة إلى أراضٍ زراعية مثل الأراضي بقرية إبراهيم الدسوقي بساحل بحيرة البرلس (شكل ١٤).



المصدر: الدراسة الميدانية للباحثين و Google earth.

شكل (١٤) الطريق الساحلي الدولي لشمال الدلتا وتعدد الأنشطة البشرية على طول وجانبي الطريق.

أيضا هناك طرق ساعدت على ربط منطقة الدراسة بالمحافظات الأخرى لتسهيل حركة النقل بين تلك المناطق، مثل طريق ٣٠ يونيو (صورة ٦) الذي يربط القاهرة بمدن القناة والتي منها محافظة بورسعيد، وربطها أيضا بمحافظة دمياط وباقي التجمعات العمرانية الأخرى مثل سكن مصر بمدينة بورسعيد (صورة ٧)، وربط هذا الطريق بالطريق الساحلي الدولي.



صورة (٦) طريق ٣٠ يونيو باتجاه بورسعيد.



صورة (٧) سكن مصر بمدينة بورسعيد علي بحيرة المنزلة.

(٢) المزارع السمكية:

تشير البيانات إلى زيادة المساحة الإجمالية للمسطحات المائية والمزارع السمكية فكانت ٨٤٣ كم^٢ في عام ١٩٨٥، وقد بلغت ١٣٢٤.٦٧ كم^٢ في عام ٢٠٢٣م، مع زيادة صافية بنسبة حوالي ٣٦٪ بنحو (٤٨١.٦٧ كم^٢)، وتمركزت معظم الأنشطة التنموية لمزارع تربية الأسماك حول البحيرات إيدكو والبرلس والمنزلة، وأظهرت الدراسة الميدانية للمنطقة أن مزارع تربية الأسماك توسعت على طول خط الساحل حول البحيرات بسبب إنشاء الطريق الساحلي الدولي، كما أن أغلب السكان فيها يعملون في حرفة صيد الأسماك، ويقومون بضخ المياه من البحيرات إلى مزارعهم السمكية، مع الأخذ في الاعتبار وجود هذه المناطق تحت خط كنتور +١ م، وتسرب المياه من البحيرات يجعل منسوب المياه سطحيًا جدًا ويمكن الوصول إليها اقتصاديًا لصناعة تربية الأسماك، ومع ذلك تم رصد نقاط جديدة في المنطقة الصحراوية الساحلية جنوب جمصة وغرب رشيد، حيث يقوم الناس قرب هذه المناطق المهجورة من البحر بضخ المياه إلى مناطق أحواض الأسماك صورة (٨/أ، ب)



صورة (٨/ب) إحدى المزارع السمكية الواقعة علي الطريق الدولي الساحلي وتقع شمالها شركة البترول



صورة (٨/أ) إحدى المزارع السمكية علي جانبي طريق ٣٠ يونيو علي بحيرة المنزلة في اتجاه مدينة بورسعيد

(٣) البحيرات:

تواجه البحيرات (المنزلة والبرلس وإدكو ومريوط) بمنطقة الدراسة عددًا من المشاكل والمعوقات، منها تقلص المساحة بسبب التآكل، والتجريف، وتجفيف أجزاء منها وتحويلها إلى أراضٍ زراعية، والبعض الآخر إلى مزارع سمكية، بالإضافة إلى عدم الاهتمام بتطهير البحيرات وإزالة الحشائش منها وفتح البوغاز الخاص بكل بحيرة لتجديد المياه بها، مما أدى إلى تفاقم المشكلات بها خاصة منذ الثمانينيات حتى ٢٠١٤م (جهاز حماية وتنمية البحيرات والثروة السمكية، ٢٠٢٠م) وقد ساعد الطريق الساحلي الدولي علي زيادة تعدد وتوسع في الأنشطة البشرية والمشروعات التنموية سواء بالتوازي مع طول الطريق أو علي شمال وجنوب الطريق مثل إنشاء تجمعات عمرانية الجديدة مثل مدينة دمياط الجديدة ومدينة المنصورة الجديدة، بالإضافة إلى الأنشطة و المشروعات الصناعية الأخرى في شمال بحيرة البرلس، ومدينة الأثاث بمدينة دمياط الجديدة والمنطقة الصناعية بكفر الشيخ، علاوة علي التوسع في الاستزراع السمكي، أيضا التوسع في النشاط الزراعي بعدة مناطق بساحل بحيرة البرلس، وأيضا هناك طرق ساعدت على ربط منطقة الدراسة بالمحافظات الأخرى لتسهيل حركة النقل بين تلك المناطق مثل طريق ٣٠ يونيو والذي يربط بين القاهرة ومدن القناة والتي منها محافظة بورسعيد وربطها أيضا مع محافظة دمياط وباقي التجمعات العمرانية الأخرى وربط هذا الطريق بالطريق الساحلي الدولي.

أ- بحيرة المنزلة:

أثرت المشكلات السابق ذكرها على بحيرة المنزلة تأثيرًا كبيرًا مما أدى إلى انخفاض مساحة البحيرة إلى أقل من ٢٥٪ من مساحتها الأصلية، وأدى التجفيف الذي يعتبر من أكثر المشكلات تأثيرا وتدميرا للثروة السمكية إلى تغير طبوغرافية البحيرة وانهارها، كما عانت البحيرة من تلوث المياه بسبب تصريف المياه العادمة، ومياه الصرف الصحي، والصناعي، والزراعي، ونمو النباتات المائية، مثل، ورد النيل، والبوص، مما أدى إلى إعاقة حركة مياه البحيرة، والتأثير في الثروة السمكية الموجودة فيها. كما تم ردم أجزاء من بحيرة المنزلة للبناء عليها مثل منطقة عبده الصالحي الواقعة على بحيرة المنزلة بمحافظة الدقهلية بمساحة ٤٥ فدانًا، فقد تم إزاله جميع المباني بها حوالي ١٢٠٠ منزل و٣٧٠٠ أسرة، حيث تم استغلال الأحداث السياسة بمصر إبان ثورة يناير ٢٠١١م وقاموا بالردم والبناء داخل أجزاء من البحيرة (جهاز حماية وتنمية البحيرات والثروة السمكية، ٢٠٢٠).

كما أظهرت تحليلات المربثات الفضائية للبحيرة تغيرا كبيرا في مسطح البحيرة فيما بين عامي ١٩٨٥م و٢٠٢٠م، إذ تحولت بعض الجزر ومناطق الأحراش داخل البحيرة إلى مزارع سمكية، كما تم تحويل الأراضي الرطبة في الشمال الغربي من البحيرة إلى مزارع سمكية وتحويل جزء من البحيرة

إلى مزارع سمكية وأراضي زراعية في الجزء الجنوبي الشرقي منها، كما هو واضح في شكل (أ/١٥) و(ب/١٥).



شكل (١٥) تأثير الأنشطة البشرية علي بحيرة المنزلة والتغير بها في عامي ١٩٨٥م (أ)، ٢٠٢٠م (ب).

المصدر: Google earth

ب- بحيرة البرلس:

تقلصت مساحة البحيرة إلى ٤٢٪ من إجمالي مساحتها (١٦٥ ألف فدان إلى أقل من ٧٠ ألف فدان)، نتيجة الانتشار العشوائي للسدود والمزارع السمكية والنمو الهائل لنبات البوص والصيد الجائر المخالف، فضلا عن الامتداد العمراني العشوائي شرق وغرب وجنوب البحيرة. وزيادة عمليات استصلاح الأراضي الرطبة وتحويلها إلى أراضٍ زارعية ومزارع سمكية، وتحويل الأراضي الزراعية المجاورة للبحيرة إلى مزارع سمكية أيضًا (الشامي، ٢٠١٥)، كما يتضح من الشكلين (١٦ أ/ب) خلال الفترة الزمنية ١٩٨٥-٢٠٢٣ الامتداد العمراني العشوائي شرق وغرب وجنوب البحيرة.



شكل (١٦/أ) بحيرة البرلس عام ١٩٨٥م.



شكل (١٦/ب) بحيرة البرلس عام ٢٠٢٣م.

المصدر: Google Earth

ج- بحيرة إدكو:

تقلصت مساحة البحيرة تقلصًا شديدًا إذ كانت تبلغ مساحتها حوالي ١٧ ألف فدان فصارت مساحتها ٥ آلاف فدان نتيجة التجفيف وتحويل أراضيها إلى أراضٍ زراعية ومزارع سمكية.

د- بحيرة مريوط:

كانت تمتد على طول ٢٠٠ كم مربع بداية القرن العشرين، ثم تقلص حاليا حجم البحيرة إلى ٥٠ كم متر بسبب كثرة التعداد واستقطاع أجزاء من الأرض المحيطة بها، وقد ازداد هذا الأمر خاصة بعد واقعة الغرق لمدينة الإسكندرية في ٢٠١٥، والقرارات التي اتخذتها وزارة الري لتقليل منسوب المياه بالبحيرة، وذلك لتجنب تكرار ظاهرة الغرق، مما أدى إلى جفاف الأطراف وجعلها عرضة للتعداد عليها (جهاز تنمية البحيرات والثروة السمكية، ٢٠٢٠) شكل (١٧/أ، ب).



شكل (١٧/أ) بحيرة مريوط لعام ١٩٨٥م



شكل (١٧/ب) بحيرة مريوط لعام ٢٠٢٣م

المصدر : Google Earth

٤) العمران:

يعد النمو العمراني من أهم المشكلات التي تواجه التنمية بكل عام. وقد أظهرت الدراسة نمواً عمرانياً على نطاق واسع وفي كافة الاتجاهات إذاً كما ذكر سابقاً ان المنطقة تحتوي علي نحو ٦٠٥ منطقة عمرانية ما بين قرى ومدن تغطي أكثر من ٣٤٣٠ كم^٢ عام ٢٠٢٣م أي بنسبة حوالي ٣٥.٢٩٪ من إجمالي المساحة بمنطقة الدراسة مقارنة بعام ١٩٨٥م، فقد كانت مساحة العمران بها حوالي ١٣٢ كم^٢ أي حوالي ١.٣٦٪ من منطقة الدراسة، في غضون ٣٨ عاماً فقط، زادت المنطقة الحضرية بحوالي ٣٣٩٨ كم^٢ (حوالي ٣٤.٩٪ من مساحة الدراسة).

وهذا يعني أن معدل الزيادة السنوي يبلغ نحو ٩٠ كم^٢ سنوياً، والتي يتم نموها بشكل رئيسي على حساب الأراضي الزراعية والكتبان الرملية الساحلية والتربة القاحلة، وكذلك في المسطحات المائية الضحلة في بعض المناطق حول البحيرات وبالقرب من الساحل. ومن الجدير بالذكر أن بناء الطرق على طول المنطقة الساحلية قد ساعد على النمو العمراني المتسارع، بالإضافة إلى تطوير البنية التحتية في الفترة الأخيرة كان عاملاً متسارعاً آخر لتغيير استخدام الأراضي في منطقة الدراسة، خاصة بالنسبة للاستزراع السمكي وتحول بعض الأراضي الزراعية إلى مناطق عمرانية، والأراضي الرملية والرطبة إلى بعض المدن العمرانية الجديدة والمناطق السياحية خاصة على طول خط الساحل مثل مدينتي دمياط الجديدة والمنصورة الجديدة وبعض القرى السياحية والمناطق الصناعية الأخرى.

٥) الأراضي الزراعية:

وتعتبر الأراضي الزراعية هي الغطاء الأساسي فيها حيث يشغل نحو ٥٦.٥٪ من تصنيفات الغطاء الأرضي بمنطقة الدراسة، ونظراً لمحدودية الظهير الصحراوي في بعض المناطق انعكس ذلك على ارتفاع أعمال التعدي المستمر على الكتلة الزراعية بالعمران غير المخطط كنتيجة تلقائية لما يحدث من نمو سكاني كبير في التجمعات العمرانية الرئيسية فيما يطلق عليه Urban Sprawl (Bhat, et al., ٢٠١٧). ليس هذا فقط فهناك أراضٍ زراعية تم استصلاحها في نطاق خط الساحل ولكن مع مرور الوقت تأثرت تلك الأراضي بملوحة مياه البحر مما جعل السكان يقومون بتحويل العديد منها إلى مزارع سمكية. كما تحول العديد من الأراضي الزراعية حول البحيرات إلى مزارع سمكية لزيادة العائد المادي لأصحابها.

سابعاً - توظيف المؤشرات الطيفية **Band Ratio** لاستخراج تصنيفات الغطاء الارضي:

أظهرت الدراسة الميدانية للمنطقة تعدد الأنشطة البشرية المختلفة بالإضافة إلى استخدام معالجة المؤشرات الطيفية **Band Ratio** لاستخراج تصنيفات الغطاء الأرضي لهذه المرئيات للفترة ما بين ١٩٨٥م حتى ٢٠٢٣م، أيضاً مقارنة الغطاء الأرضي لاستخدامات الأراضي الذي ساعد على مراقبة وحساب التغييرات على طول الساحل الشمالي من بور فؤاد شرقاً إلى مدينة الحمام غرباً علاوة على ذلك الخط الساحلي، وكانت التغييرات خلال الفترة (١٩٨٥-٢٠٢٣م) حيث ارتفعت معدلات النحت بالتزامن مع إنشاء السد العالي في بداية فترة ستينيات القرن الماضي ومن ثم تراجع خط الساحل، ومع تراجع معدلات نمو الدلتا المصرية فيما قبل مرحلة بناء السد العالي ومحدودية الشريط التتموي من الدلتا المصرية علي ساحل البحر المتوسط وما قام به الإنسان من تغيير في أنماط الغطاء الأرضي **Land Cover** وهو التصنيف المادي للأرض كما تظهر للعيان وتغييراتهم عبر الزمان والمكان وهي تختلف في مفهومها عن **Land Use** التي تشير إلى الكيفية التي يتم بها تقييم موارد الغطاء الأرضي لتحقيق منافع بشرية (القصاب، ٢٠٢١م، ص ٤٩).

لذا كان من الضروري العمل على تحليل أنماط الغطاء الأرضي من خلال تحليل البيانات الرقمية المتاحة لصور الأقمار الصناعية بعد معالجتها من العديد من الأخطاء سواء كانت أخطاء في التصحيح الهندسي والإرجاع الجغرافي **Geometric** أو تتعلق بالجانب الإشعاعي **Radiometric**، حيث يتضح من تحليل جدول (١٤) أنه قد تم الاعتماد علي صور الأقمار الصناعية **Landsat** بدقة الوضوح المكانية التي تصل إلى ٣٠ متراً والاعتماد في عملية تصنيف الغطاء الأرضي علي النظام الأمريكي **USGS** والذي قام بتطويره **Anderson** وزملاؤه عام ١٩٧٢م والذي يتصف بالشمولية والمرونة وتوقه علي الأنظمة التصنيفية الأخرى، بالإضافة إلى توافقه مع صور القمر **Landsat** المستخدمة بالدراسة (خنساء ملحم، ٢٠١٧م، ص ٢٦٦).

جدول (١٤) القيم الانعكاسية للمؤشرات الطيفية **Band Ratio**.

NDSI		NDWI		NDBI/MBU		NDVI		السنة
أدنى قيمة	أعلى قيمة							
٠.٩٠٨-	٠.٩٨٥٥	٠.٩٥١٢-	٠.٩٧٨٥	٠.٩٧٨٩-	٠.٨٥١٩	٠.٩٧٦٧-	٠.٩٥٥١	١٩٨٥
٠.٧٣٤٧-	٠.٩٨٤٥	٠.٧٤٦٦-	٠.٩٨٥٩	٠.٩٨٥٧-	٠.٧٤٠٦	٠.٨٧٢٣-	٠.٧٢٨٣	١٩٩٠
٠.٩٠٢٩-	٠.٩٨٢١	٠.٨٢١٨-	٠.٩٨٧٥	٠.٩٨٦٨-	٠.٨٥٧١	٠.٦٩٠٩-	٠.٨٣٨٧	١٩٩٥
٠.٧٧٧-	٠.٩٨٤٦	٠.٨٠٢١-	٠.٩٨٥٧	٠.٩٨٠٢-	٠.٧٠٤٨	٠.٩٢-	٠.٧٦٤٧	٢٠٠٠
٠.٦٣٥٦-	٠.٥٨٦٣	٠.٥٥٩٣-	٠.٤٢٦٤	٠.٦٠١٤-	٠.٥٣٠٧	٠.٤١١٣-	٠.٦٢٤٦	٢٠١٥
٠.٦٥٣٦-	٠.٦٠٠٩	٠.٥١٠١-	٠.٤٥	٠.٥٦٩٢-	٠.٦٢١٦	٠.٤١٥٦-	٠.٥٨٠٣	٢٠٢٠
٠.٦٨٥١-	٠.٥٥١١	٠.٥٥٤-	٠.٣٦٨٣	٠.٥٦٢-	٠.٦١٦	٠.٣٩٥٥-	٠.٦٠٣٧	٢٠٢٣

المصدر: بالاعتماد على نتائج تحليل صور الأقمار الصناعية للفترة ١٩٨٥ - ٢٠٢٤م.

لذا تم الاعتماد على أسلوب Band Ratio للحصول على تحديد الغطاء الأرضي المطلوب، حيث تم تطبيق العديد من المؤشرات الطيفية على صور الأقمار الصناعية المستخدمة وهي:

١- مؤشر الغطاء النباتي NDVI:

يستخدم هذا المؤشر لتقدير كمية ونوعية الغطاء النباتي بشكل عام في الحيز المكاني لمنطقة الدراسة، وذلك عبر توظيف خصائص الأطياف المرئية للبيانات الرقمية التي تم جمعها من الأقمار الصناعية، حيث يتم احتساب مؤشر NDVI عن طريق قياس مدى الاختلاف في درجة امتصاص الضوء بين الأجسام الأرضية بشكل عام والمسطحات الخضراء بشكل خاص، يعتمد المؤشر على حساب الفارق بين الإشعاع المنعكس في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR والأشعة المرئية في الطيف المرئي الأحمر Red والموضحة بالمعادلة التالية:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

<https://www.indexdatabase.de>

ويتراوح ناتج تطبيق هذا المؤشر ما بين (+1 و -1) مع التأكيد على أنه كلما اقترب الناتج من (+1) كان التواجد النباتي كثيفاً والعكس صحيح حال اقتراب القيمة من (-1)، ومن خلال تحليل شكل (١٧) يمكن ملاحظة التغير العام في التوزيع الجغرافي للغطاء النباتي في منطقة الدراسة علي مدار سنوات الدراسة الفترة ١٩٨٥ - ٢٠٢٣ م، كما يمكن من تحليل جدول (١٤) ملاحظة أن نتيجة مؤشر NDVI عام ١٩٨٥م كانت تبلغ ٠.٩٥٥١، مما يشير إلى وجود غطاء نباتي كثيف، بينما في عام ٢٠٢٠م بلغت القيمة ٠.٥٨٠٣، مما يشير إلى تدهور في صحة الغطاء النباتي بالمنطقة.

٢- مؤشر التجمعات العمرانية NDBI:

يستخدم هذا المؤشر لتحديد المناطق العمرانية من صور الأقمار الصناعية، ويعتمد مؤشر NDBI على قياس درجة اختلاف مستويات امتصاص الضوء بين المناطق العمرانية وأي استخدام آخر بشكل عام، حيث تتميز المناطق العمرانية بتواجد المباني والأسطح المصمتة التي تعكس الضوء بطريقة مختلفة عن الأراضي الزراعية، وعملياً يتم حساب مؤشر NDBI عن طريق استخدام الخصائص المختلفة لكل من الأطياف الأشعة تحت الحمراء الحرارية والموضحة بالمعادلة التالية التي اقترحها (Zha et al , ٢٠٠٣):

$$NDBI = (SWIR - NIR) / (SWIR + NIR)$$

وكما اقترب الناتج من (+1) كانت الكتلة العمرانية أو المباني شديدة الوضوح والعكس صحيح حال اقتراب القيمة من (-1)، ولكن بسبب التداخل الطيفي بين القيم الانعكاسية للمباني مع القيم الانعكاسية للأراضي الفضاء تم تطوير المعادلة التالية للفصل بين القيم الانعكاسية للغطاء الأرضي والذي يطلق عليه MBU أو Modified Built Up Index وفقاً للمعادلة التالية:

$$MBU = (NDBI - NDVI) / 2$$

يتضح من خلال تحليل شكل (١٨) يمكن لنا ملاحظة التغير العام في التوزيع الجغرافي للغطاء العمراني في منطقة الدراسة على مدار الفترة ١٩٨٥ - ٢٠٢٣م كما يمكن من تحليل جدول (١٤) ملاحظة أن قيمة مؤشر NDBI لعام ١٩٩٥م بلغت نحو ٠.٨٥٧١، مما يشير إلى وجود بنية تحتية عمرانية كثيفة، بينما في عام ٢٠٢٣م بلغت ٠.٦١٦٥، مما يشير إلى استمرار النشاط البنائي ولكن بوتيرة أقل بما يؤكد بشكل قوي نجاح إستراتيجية الدولة في الحد من أعمال البناء على الأراضي الزراعية، حيث زادت المساحة والكثافة العمرانية معا مثال الجزء الغربي من منطقة الدراسة مثل مدينة برج العرب الجديدة.

٣- مؤشر الأراضي الرطبة NDWI:

يستخدم مؤشر "Normalized Difference Water Index"، لتحديد مدى وجود المياه في الأراضي، حيث تعتمد عملية NDWI على الفروق الكهرومغناطيسية في امتصاص الاجسام الأرضية للأطيف المنعكسة، وقد تم الاعتماد في تحديد الأراضي الرطبة على المعادلة التالية:

$$\text{(Green - NIR) / (Green + NIR)}$$

يتضح من تحليل جدول (١٤) التغير العام في توزيع الأراضي الرطبة في منطقة الدراسة على مدار الفترة ١٩٨٥ - ٢٠٢٣م، كما يمكن ملاحظة أن نتيجة مؤشر NDWI سجلت قيمة مرتفعة عام ١٩٩٥م حيث بلغت ٠.٩٨٧٥، مما يشير إلى وجود نسبة كبيرة من الأراضي الرطبة، بينما في عام ٢٠٢٣م كانت قد سجلت ٠.٣٦٨٣، مما يشير إلى انخفاض ملحوظ في وجود المياه في بعض المناطق وتغييرها إلى استخدامات أخرى بسبب أعمال الردم في البحيرات والمناطق الساحلية.

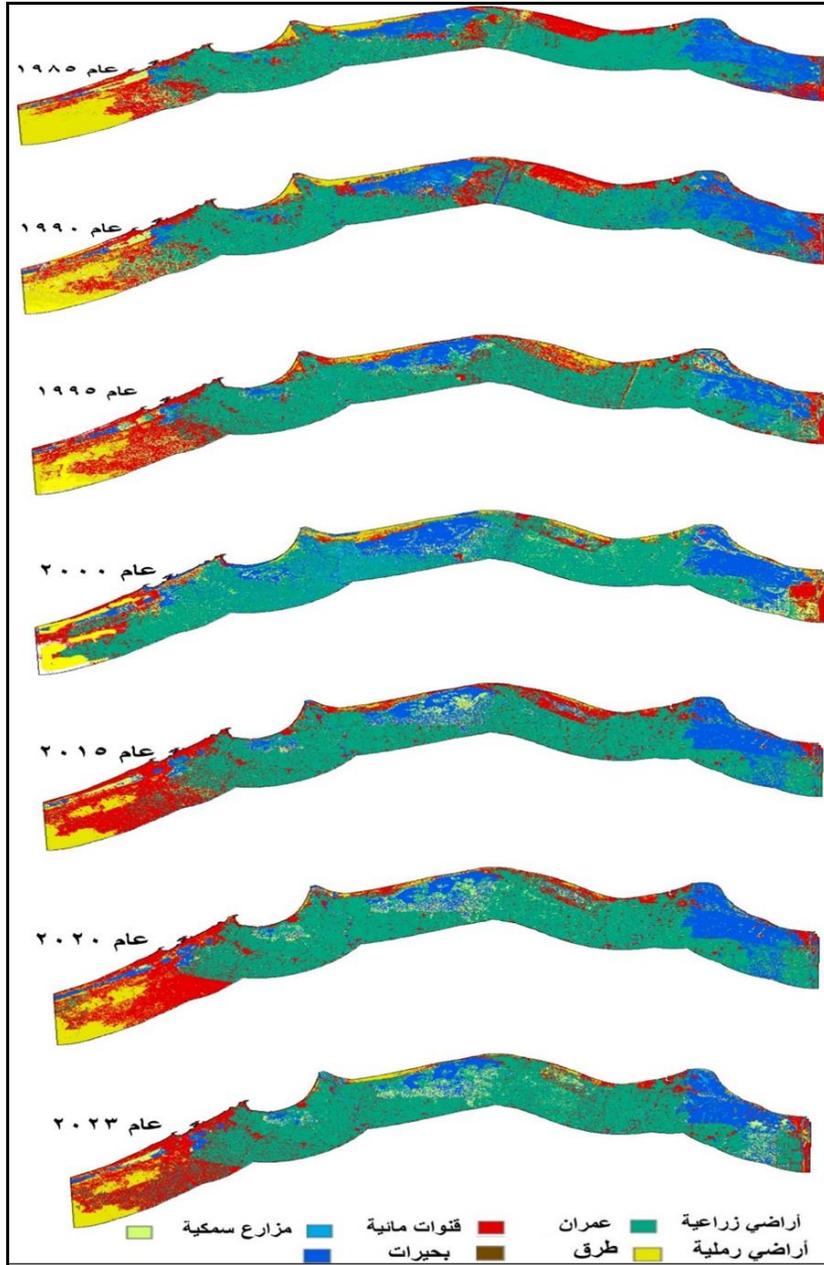
٤- مؤشر فرق الرمال القياسي NDSI:

يستخدم مؤشر "Normalized Difference Sand Index" لتحديد وتصنيف الكثبان الرملية في المناطق الصحراوية، حيث يمكن حسابه بناءً على الفروق في امتصاص الطيف الكهرومغناطيسي بين موجتين مختلفتين من الطيف، عادةً ما تكون واحدة في الطول الموجي المرئي وهو الأحمر Red، والأخرى في القريبة من الأشعة تحت الحمراء ٢ SWIR، فعندما يكون قيمة NDSI عالية، فإن ذلك يشير إلى وجود كثبان رملية، أما إن كان قيمتها منخفضة أو سالبة فإن ذلك يشير إلى وجود سطح آخر غير الرمال مثل الصخور أو النباتات.

$$\text{(Green - SWIR) / (Green + SWIR)}$$

يمكن من تحليل جدول (١٤) ملاحظة أن نتيجة مؤشر NDSI كانت الأعلى في عام ١٩٨٥م حيث سجلت ٠.٩٨٥٥، مما يشير إلى وجود كميات كبيرة من الرمال، أما في عام ٢٠٢٣م فقد سجلت ٠.٥٥١١، مما يشير إلى تقليل كميات الرمال وانتشار استخدام آخر على حساب ذلك، من أبرزها استصلاح بعض المناطق وتحويلها إلى أراضٍ زراعية، إضافة إلى انتشار النمو العمراني

الحضري في مناطق الظهير الصحراوي مقارنة بالفترات السابقة، بشكل عام يمكن لنا ملاحظة التغير العام في النتائج الانعكاسية للمؤشرات الطيفية Band Ratio في منطقة الدراسة، حيث يمكن القول بأن هذا التباين يشير إلى مدي تغيرات في الظروف البيئية عبر الفترات الزمنية.



شكل (١٨) التغيرات الجيومكانية في الغطاء الأرضي علي مدار سنوات الدراسة
الفترة ١٩٨٥-٢٠٢٣م

ثامناً - التحليل التقني لكشف التغيرات الزمكانية للغطاء الأرضي **Land Cover**:

يتضح من تحليل نتيجة تطبيق مؤشر تصنيف استعمالات الأراضي Supervised Classification لصور الأقمار الصناعية شكل (١٨) وجدول (١٥) ما يلي:

(١) العمران:

إن كثافة التجمعات العمرانية زادت بشكل كبير خلال في فترة ما من بين عام ١٩٨٥م وعام ٢٠٢٣م، حيث تضاعف حجم الكتلة العمرانية تقريباً أكثر من ١٩ مرة في نهاية الفترة ، فقد ارتفع حجم الكتلة العمرانية من ١٣٢.١ كم^٢ في عام ١٩٨٥ إلى ٢٣٤٣٠.٥ كم^٢ في عام ٢٠٢٣م ، أي بنسبة تجاوزت ٢٥٠٠٪ خلال ٣٨ عامًا ، كما يمكن ملاحظة أن هناك زيادة كبيرة جدًا في الكتلة العمرانية خلال فترتين تعتبران من الفترات الفارقة في النمو العمراني على الرقعة الزراعية، الأولى : هي الفترة من عام ١٩٩٠م إلى عام ٢٠٠٠م، حيث ارتفعت من ٩٢٣.٤ كم^٢ إلى ١٧٦٦.٤ كم^٢ بفارق بلغ ٨٤٣ كم^٢ تقريباً، أما الثانية: فمن عام ٢٠٠٠م إلى عام ٢٠٢٠م، حيث ارتفعت من ١٧٦٦.٤ كم^٢ إلى ٣٠٩٠.٨ كم^٢ بفارق بلغ ١٣٢٤ كم^٢ تقريباً مما يشير إلى فترة نمو سريع للمناطق الحضرية خلال هذه الفترة، وكان ذلك الانتشار علي حساب الرقعة الزراعية ، كما لوحظ حدوث نوع من التباطؤ والانخفاض، حيث إن هناك بعض السنوات التي شهدت تباطؤاً أو حتى انخفاضاً في التوسع العمراني، وذلك خلال الفترة التي تلت عام ٢٠٢٠م حيث سجل الفارق بين حجم الكتل العمرانية عام ٢٠٢٠م وعام ٢٠٢٣م نحو ٣٣٩ كم^٢. ويعود ذلك ان زيادة الوعي بأهمية تنمية واستثمار المنطقة وانشاء العديد من التجمعات العمرانية المختلفة الذي بدوره ساعد علي جذب العديد من السكان للسكن بتلك المدن بدلا من النمو العشوائي والغير مخطط، كما ساعدت أيضا المشروعات التنموية لجذب العديد من العمالة المختلفة لها.

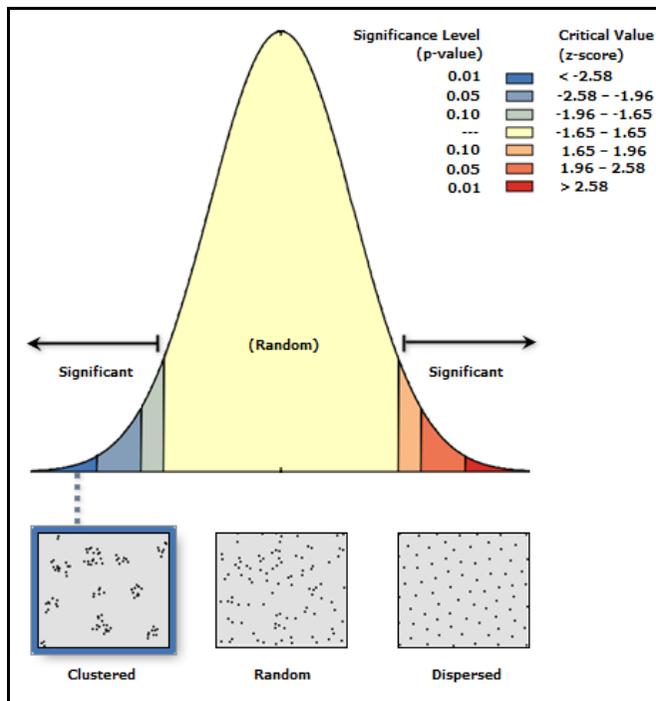
جدول (١٥) استعمالات الاراضي علي ساحل منطقة الدراسة الفترة ١٩٨٥م - ٢٠٢٣م

السنة	التجمعات العمرانية/كم ^٢	%	الأراضي الزراعية/كم ^٢	%	أراضي رطبة/كم ^٢	%	كثبان رملية/كم ^٢	%
١٩٨٥	١٣٢.١	١.٣٦	٥٨٤٩.٢	٦٠.١٨	١٤٩٠	١٥.٣٣	٢٢٤٨.٧	٢٣.١٣
١٩٩٠	٩٢٣.٤	٩.٥٠	٥٥٥٠.١٢	٥٧.١٠	١٤٠٩.٤	١٤.٥٠	١٨٣٧.٠٨	١٨.٩٠
١٩٩٥	١٠٦٩.٢	١١.٠٠	٥٢٨٥.٧٣٦	٥٤.٣٨	١٧١٠.٧٢	١٧.٦٠	١٦٥٤.٣٤٤	١٧.٠٢
٢٠٠٠	١٧٦٦.٤	١٨.١٧	٥١٧٣.٦٨	٥٣.٢٣	١١٩٥.٥٦	١٢.٣٠	١٥٨٤.٣٦	١٦.٣٠
٢٠١٥	٢٨٠٠.٨	٢٨.٨١	٤٥١٧.٠٨	٤٦.٤٧	١٤٠٠.٥٦	١٤.٤١	١٠٠١.٥٦	١٠.٣٠
٢٠٢٠	٣٠٩٠.٨٤	٣١.٨٠	٣٢١٧.٤٤	٣٣.١٠	٢٠٦٠.٦٤	٢١.٢٠	١٣٥١.٠٨	١٣.٩٠
٢٠٢٣	٣٤٣٠.٥٠٨	٣٥.٢٩	٣٣٦٥.٩٨٢	٣٤.٦٣	٢١١٥.١٥	٢١.٧٦	٨٠٨.٣٦	٨.٣٢

المصدر: بالاعتماد على تحليل صور الاقمار الصناعية الفترة ١٩٨٥-٢٠٢٣م.

التحليل الجيومكاني لتوزيع التجمعات العمرانية الحضرية:

معامل الجار الأقرب (Average Nearest Neighbor Distance) واحد من أساليب التحليل الجيوإحصائي التي تم استخدامها في تحليل المسافات الحقيقية بين النقاط المنتشرة في منطقة الدراسة للتجمعات العمرانية بها، ومن خلال تحليل شكل (١٩) و (٢٠) يتضح أن التوزيع المكاني للتجمعات العمرانية علي طول ساحل منطقة الدراسة يتسم بنمط ذي طبيعة متجمعة أو متكتلة Clustered نتيجة محدودية الأراضي التي تصلح لإقامة الأنشطة العمرانية المختلفة سواء بمناطق الأراضي الرطبة أو الرملية، هذا بالإضافة إلى فعل النشاط الزراعي السائد في المنطقة وما يتبعها من وجود تكتلات عمرانية في الكثير من المناطق.



شكل (١٩) نمط توزيع التجمعات العمرانية بمنطقة الدراسة

Average Nearest Neighbor Summary	
Observed Mean Distance:	173.9309 Meters
Expected Mean Distance:	1994.9091 Meters
Nearest Neighbor Ratio:	0.087187
z-score:	-54.247056
p-value:	0.000000

شكل (٢٠) نتائج تحليل معامل صلة الجوار للتجمعات العمرانية بمنطقة الدراسة.

(٢) الأراضي الزراعية:

يُلاحظ حدوث انخفاض ملحوظ في مساحة الأراضي الزراعية على مدار الفترة من عام ١٩٨٥م إلى عام ٢٠٢٣م، حيث شغلت نحو ٥٨٤٩ كم^٢ في عام ١٩٨٥م وانخفضت إلى ٣٣٦٥ كم^٢ في نهاية الفترة نسبة ٣٤.٦٪، وإن كان يلاحظ أن هناك انخفاضاً في وتيرة معدل التغير بين عامي ٢٠٢٠م و ٢٠٢٣م، مما يشير إلى تباطؤ معدل فقدان الأراضي الزراعية قبل أن تشهد ارتفاعاً طفيفاً في عام ٢٠٢٣م.

(٣) الأراضي الرطبة:

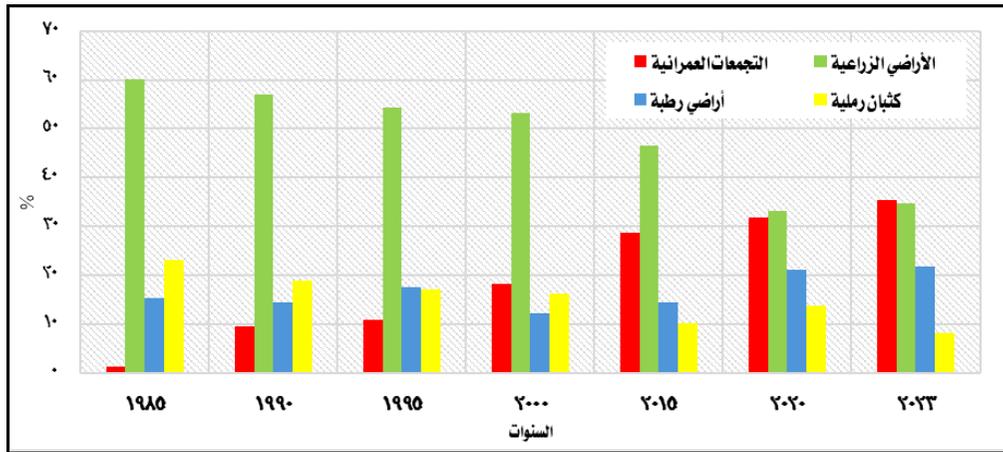
إن هناك زيادة تدريجية في المساحات الرطبة من عام ١٩٨٥م إلى عام ١٩٩٥م، لكن بين عامي ١٩٩٥م و ٢٠٠٠م حدث انخفاض حاد في المساحات الرطبة، حيث تم تحويلها إلى مزارع سمكية وبعض الأنشطة العمرانية وتم إنشاء مناطق عمرانية جديدة، كما يلاحظ أن هناك تقلبات طفيفة في مساحة الأراضي الرطبة ما بين زيادة ونقصان طفيفين على مدار الفترة ما بين ٢٠١٥م وحتى ٢٠٢٣م، وتشير البيانات الأخيرة لعام ٢٠٢٣م إلى ارتفاع طفيف في المساحات الرطبة مقارنة بالأعوام السابقة حيث بلغ إجمالي مساحة الأراضي الرطبة والمساحات المائية في منطقة الدراسة نحو ٢١١٥.١٥ كم^٢ مما يعد أحد الدلائل القوية على ارتفاع منسوب المياه ورطوبة التربة في الجزء الشمالي من جمهورية مصر عامة والدلتا خاصة، بما في ذلك من تأثيرات على الأراضي الزراعية ونسب الأملاح فيها.

(٤) الكثبان الرملية:

يلاحظ أن مساحة الكثبان الرملية عام ١٩٨٥م بلغت نحو ٢٢٤٨.٧ كم^٢ ثم تناقصت هذه المساحة بشكل ملحوظ إلى ٨٠٨.٣٦ كم^٢ في عام ٢٠٢٣م، ويشير هذا إلى انخفاض مستمر في مساحات الكثبان الرملية على مدى السنوات الماضية مع تحليل التتابع المكاني Change Overlay إلى تغير الاستخدام من مناطق صحراوية "كثبان رملية" إلى مناطق مستغلة سواء أكان نوع ذلك التغير زراعياً أم عمرانياً وإعادة تأهيلها بما يتناسب مع الأنشطة الإنسانية، مثل غرب منطقة الدراسة التي تم فيها إنشاء مدينة برج العرب الجديدة.

وخلاصة القول فقد استحوذ الغطاء العمراني على المرتبة الأولى بين أنماط الغطاء الأرضي المختلفة في منطقة الدراسة، كما أن للعامل البشري دوراً هاماً في ارتفاع نسبة التجمعات العمرانية في هذا النطاق الساحلي وبذلك تظهر الحاجة لوجود الاستعمالات العمرانية ذات الأغراض المتنوعة وذلك لتلبية حاجات السكان والمشروعات التنموية لجذب الزيادة السكانية إلى تلك المناطق مثل مدينة دمياط الجديدة والمنصورة

الجديدة وبرج العرب الجديدة، ووفقاً لبيانات جدول (١٥) وشكل (١٨) فإن الاستعمال العمراني يأخذ ما نسبته ٣٥.٣٪ من إجمالي الغطاء الأرضي، ويعود السبب في ذلك لغياب الفكر التخطيطي وللنمو العشوائي لهذا الاستعمال، وهذا بدوره يؤثر في التوزيع المكاني للاستعمالات الأخرى في منطقة الدراسة، وكذلك محدودية المنطقة في التوسع في اتجاهات أخرى، أما غطاء الأراضي الزراعي كان في المرتبة الثانية، حيث يشغل مساحة بلغت ٣٣٦٥.٩ كم^٢، بنسبه ٣٤.٦٪ من إجمالي الغطاء الأرضي، ويعود السبب في ارتفاع تلك النسبة لطبيعة هذا الجزء من الدلتا المصرية، يليها الأراضي الرطبة بنسبة ٢١.٨٪ تليها الكثبان الرملية بنسبة ٨.٣٪.



شكل (٢١) التوزيع النسبي لحجم تغيرات أنماط الغطاء الأرضي الفترة ١٩٨٥-٢٠٢٣ م.

تاسعاً - التوظيف المنهجي للذكاء الاصطناعي في دراسة تغيرات خط الساحل:

التحليل المكاني لتغيرات خط الساحل الفترة ١٩١٤ وحتى ٢٠٢٤ م:

تعتبر الخرائط القديمة والصور الجوية Corona وصور الأقمار الصناعية مصادر للبيانات التي تم من خلالها تتبع التغيرات التي تطرأ على أي مكان في سطح الأرض ولا سيما تغيرات خط الساحل، فمن خلال القيام بمعالجة الخرائط الطبوغرافية القديمة وإرجاعها جغرافياً Geometric Correction وفق نمط التصحيح المتبع وتحويل نظم إسقاطها للنظم الحديثة المتعارف عليها من ETM إلى الإسقاط الحديث المتعارف عليه UTM حتى تتوافق كامل بيانات المنطقة الجغرافية على إسقاط واحد لتوحيد إطار العمل الجيومكاني والعمل على تصحيح صور الأقمار الصناعية من خلال إزالة القراءات الرقمية غير الصحيحة في قيمة الـ Pixels الناتجة عن تشوهات الغلاف الجوي من خلال عمليات التصحيح المتعارف عليها تحت مسمى Atmospheric Correction لكل صور الأقمار الصناعية المستخدمة في الدراسة على اختلافها.

وتم الاعتماد على رصد وتتبع تغيرات خط الساحل في منطقة الدراسة خلال فترة بلغت نحو ١١٠ عامًا، حيث تم رسم خط الساحل على مدار سنوات الدراسة عبر الاعتماد على تطبيق المؤشر NDWI على كافة بيانات صور الأقمار الصناعية التي تم الحصول عليها للحصول على بيان يوضح الحد الفاصل بين اليابس والمسطحات المائية بشكل واضح من خلال المعادلة التالية:

$$NDWI = (GREEN - NIR) / (GREEN + NIR)$$

وتم إدراج الطبقات الخاصة بخط الساحل على طول سنوات الدراسة في نموذج قاعدة بيانات جغرافية ذات مواصفات محددة وفق متطلبات The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) والذي أمكن من خلاله تتبع تغيرات خط الساحل بشكل نموذجي وبما يمكن من خلاله التنبؤ بالتغيرات المستقبلية لخط الساحل لفترات زمنية متقاربة وذلك لمدة ١٠ أعوام أو ٢٠ عامًا، بالاعتماد على خط أساس مرجعي Base Line وهو أقدم خط ساحل عام ١٩١٤م وصولاً لعام ٢٠٢٤م بفواصل مكاني بلغ ١٠٠ متر، وعبر الاعتماد على منهجية قياس إحصائية ضمن متطلبات DSAS وهي End Point Rate (EPR) بالإضافة الي Linear Regression Rate (LRR) حيث يعد المؤشر الأول معني بعملية تقييم للتغيرات بين كل خطين متتاليين ومتعامدين علي خط الساحل، بينما يستهدف المؤشر الثاني تقدير معدلات التغير سواء بالنحت أو الإرساب طوال الفترة الزمنية بأكملها.

وقد لاحظ (Hapke et al , ٢٠١١ , P.P:١٠٣٤-١٠٤٧) أنه في كل مرة يتم فيها رسم خط الساحل من مصدر بيانات سواء كان صورة قمر صناعي أو صورة جوية أو خريطة طبوغرافية سينتضمن دائماً خطأ بشرياً أثناء عملية التحويل الرقمي Digitizing أو خطأ دقة الوضوح المكانية لحجم الـ Pixels أو التأثيرات الخارجية لكل من دورتي المد والجزر، وعليه سوف يتم اتباع بعض حسابات التدقيق وعدم اليقين التي يمكن التعبير عنها بالمعادلة التالية:

$$U = \sqrt{E_g^2 + E_p^2 + E_d^2}$$

(Niang, ٢٠٢٠, pp. ٧٦٢-٧٧٦)

حيث إن:

- E_g = خطأ التصحيح الجغرافي، الذي يُعتبر متوسط مربع الخطأ لجميع الصور.
- E_p = خطأ البيكسل، الذي يُعتبر أصغر حجم بكسل للصورة بناءً على مقياسها.
- E_d = خطأ الترقيم الرقمي، الذي يمكن تقريبه بنصف حجم البيكسل على الأقل.

هذه المتغيرات تؤدي إلى قيم عدم اليقين الأفقية الإجمالية للفترات الزمنية، كما هو موضح بجدول (١٦)، وأظهر نتيج تحليل تغيرات خط الساحل لعدد ٣٩٢٧ خط فاصل بمسافة تباعد بلغت ١٠٠ متر تقريباً بين كل فاصل رأسي وآخر متعامد على طول ساحل منطقة الدراسة وجود تغير في أبعاد خط الساحل بشكل عام حيث بلغ إجمالي طول خط ساحل منطقة الدراسة عام ١٩١٤م نحو

٤٠٨.٤ كم قبل بناء السد العالي، بينما في عام ٢٠٢٤م سجل ٤٧٠.٤ كم وبلغ الفارق نحو ٦١.٩ كم تقريباً في التحليل العام خلال ١١٠ عاماً.

جدول (١٦) تقديرات عدم اليقين للتحويل الرقمي لصور الأقمار الصناعية Landsat

المؤشر	١٩٨٥	١٩٩٠	١٩٩٥	٢٠٠٠	٢٠٠٥	٢٠١٠	٢٠١٥	٢٠٢٠	٢٠٢٤
خطأ التصحيح الجغرافي	٥.٢	٨.١	٥.١	٦.٢	٥.٧	٥.٠	٨.٩	٧.٤	٧.٥
خطأ البيكسل	١٥.٠	١٥.٠	١٥.٠	١٥.٠	١٥.٠	١٥.٠	١٥.٠	١٥.٠	١٥.٠
خطأ التقييم الرقمي	١٥.٩	١٧.٠	١٥.٨	١٦.٢	١٦.٠	١٥.٨	١٧.٤	١٦.٧	١٦.٨

المصدر: (Vos, et al., ٢٠١٩, p. ١٢٢)

يلاحظ من تحليل شكل (٢٢) وجدول (١٧) لمعدلات التباين المكاني للعمليات الجيومورفولوجية لنطاقات النحت والإرساب التي حدثت في المنطقة الساحلية موضوع الدراسة زيادة معدلات نحت الساحل بشكل عام حيث بلغ ٦٦.٨ كم^٢ خلال الفترة ما بين ١٩١٤م وحتى ٢٠٢٤م بمعدل فقد بلغ ٠.٦١ كم^٢/سنة، بينما بلغت معدلات الإرساب ٤٠.٧ كم^٣ بمعدل بلغ ٠.٣٧ كم^٣/سنة على طول قطاعات منطقة الدراسة بشكل عام، وقد قدر متوسط حجم المواد التي تم نحتها خلال فترة الدراسة فيما بين ١٩١٤م حتى ٢٠٢٤م نحو ٢٠٠.٤ مليون م^٣ بمعدل سنوي بلغ ١.٨ مليون م^٣، في حين قدر متوسط المواد التي تم إرسابها بنحو ١٧٥.٨ مليون م^٣ بمعدل سنوي بلغ ١.٦ مليون م^٣ بفارق تقريبي بلغ ٢٤.٦ مليون م^٣ حمولة مفقودة تم ترسيبها في مناطق أخرى.

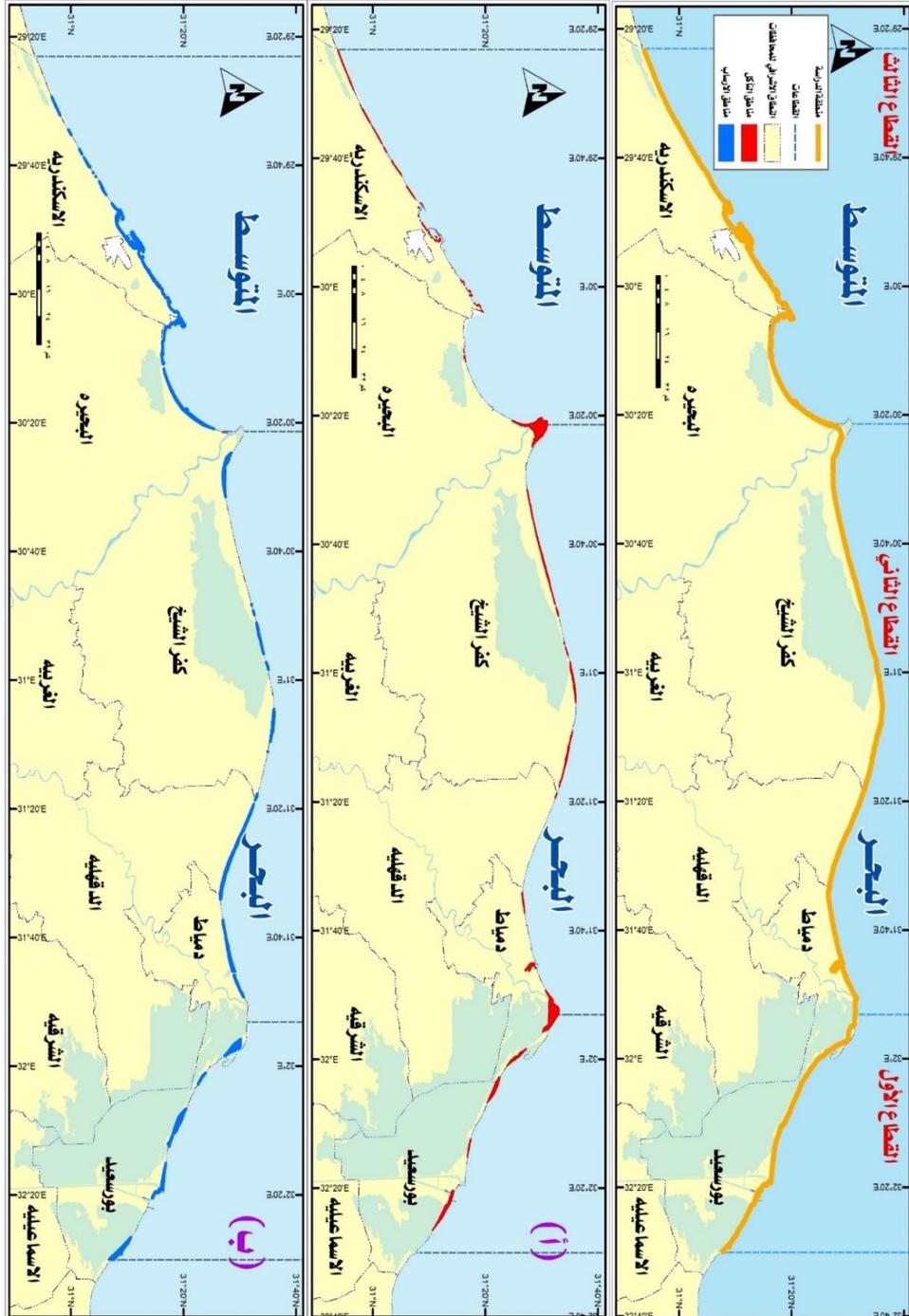
ويكون الساحل في حالة اتزان نسبي عندما يكون التغير متعادلاً، أي أن كمية النحت تتعادل مع كمية الإرساب على مدار سنوات الدراسة، وحيث يكون الشاطئ في حالة عدم اتزان عندما يكون التغير مستمراً ولكن بشكل غير موزون بسبب وجود الكثير من المنشأة الهندسية لحماية الشواطئ كتلك الموجودة أمام ساحل بعض المواقع صورة (٩) و(١٠) و(١١) و(١٢) و(١٣).

يلاحظ من تحليل شكل (٢٢) وجدول (١٨) تغلب معدلات النحت في القطاع الأول والثاني التي سجلت ٣١.٨٪ و ٥٦.٣٪ على التوالي على معدلات الإرساب التي بلغت ٨.١٪ و ٥٣.٧٪، بينما كان العكس تماماً في القطاع الثالث حيث تغلبت معدلات الإرساب في القطاع الثالث ٣٨.٣٪ على معدلات النحت ١٢٪، نظراً لأن الساحل ذو اتجاه شمالي شرقي من بداية القطاع الثالث غرباً؛ مما يؤدي إلى انحدار تيار مضيق جبل طارق واصطدامه في هذا الاتجاه مما يبطئ بشكل جزئي من سرعته مما يؤدي لحدوث عمليات ترسيب على هذا القطاع على العكس من باقي القطاعات، وبشكل عام يلاحظ أن ما تم نحته بفعل العوامل البحرية المختلفة لم يتم ترسيبه بالكامل بفاقد بلغ ٢٦.١ كم^٢ تعتبر حمولة مفقودة تم ترسيبها في منطقة خارج نطاق الدراسة.

جدول (١٧) معدل التغير في إبعاد خط الساحل على قطاعات منطقة الدراسة

نسبة التغير	%	الإجمالي	القطاع الثالث			القطاع الثاني			القطاع الأول			السنة
			نسبة التغير	%	طول الساحل	نسبة التغير	%	طول الساحل	نسبة التغير	%	طول الساحل	
٠	١٠٠,٥	٤٠٨,٤	٠	١٠٥,٠	١٦٩,٢	٠	٩٨,٠	١٥٨,٨	٠,٠٠	٩٦,٦	٨٠,٤١	١٩١٤
٠,٠٤٧-	٩٥,٩	٣٩٠	٠,١٦-	٩٠,٣	١٤٥,٥	٠,٠٣٠	١٠١,٠	١٦٣,٧	٠,٠٠	٩٧,٠	٨٠,٧٥	١٩٨٥
٠,٠١٠	٩٦,٩	٣٩٣,٩	٠,٠١١	٩٠,٨	١٤٦,٤	٠,٠٠٣-	١٠٠,٧	١٦٣,٢	٠,٠٤	١٠١,٢	٨٤,٣٦	١٩٨٧
٠,٠١٠	٩٧,٩	٣٩٧,٩	٠,٠٠٣	٩٣,٢	١٥٠,٢	٠,٠٠٢	١٠٠,٩	١٦٣,٥	٠,٠٠	١٠١,١	٨٤,٢	١٩٨٨
٠,٠١٢-	٩٦,٧	٣٩٣,٢	٠,٠٠٢-	٩١,٢	١٤٤٧	٠,٠٠٧-	١٠٠,٢	١٦٢,٤	٠,٠١-	١٠٠,٥	٨٣,٧	١٩٨٩
٠,٠٠٥-	٩٦,٣	٣٩١,٤	٠,٠٠٣	٩٤,٢	١٥١,٩	٠,٠٢٠-	٩٨,٣	١٥٩,٢	٠,٠٤-	٩٦,٤	٨٠,٣٦	١٩٩٠
٠,٠٢٥	٩٨,٧	٤٠١,٣	٠,٠٠٢	٩٥,٩	١٥٤,٦	٠,٠١٨	١٠٠,٠	١٦٢,١	٠,٠٥	١٠١,٦	٨٤,٥٦	١٩٩١
٠,٠٠٠	٩٨,٧	٤٠١,٢	٠,٠٠٠	٩٥,٧	١٥٤,٢	٠,٠٠٣	١٠٠,٤	١٦٢,٦	٠,٠٠	١٠١,٥	٨٤,٤٩	١٩٩٢
٠,٠١٩-	٩٦,٩	٣٩٣,٨	٠,٠٠٠	٩٥,٦	١٥٤,١	٠,٠٢٢-	٩٨,٢	١٥٩,١	٠,٠٥-	٩٦,٨	٨٠,٦	١٩٩٣
٠,٠٨٩	١٠٦,٣	٤٣٢,١	٠,١٤	١١١,٦	١٧٩,٨	٠,٠٦٨	١٠٥,٤	١٧٠,٧	٠,٠١	٩٨,١	٨١,٦٤	١٩٩٥
٠,٠٩٠-	٩٧,٦	٣٩٦,٦	٠,١٦-	٩٦,٤	١٥٥,٣	٠,٠٨١-	٩٧,٥	١٥٧,٩	٠,٠٢	١٠٠,٢	٨٣,٤	١٩٩٧
٠,٠٠٥-	٩٧,١	٣٩٤,٨	٠,٠٠٣-	٩٣,٩	١٥١,٤	٠,٠٠٩	٩٨,٤	١٥٩,٤	٠,٠١	١٠٠,٩	٨٣,٩٧	١٩٩٨
٠,٠٧٣	١٠٤,٨	٤٣٦,١	٠,١٣	١٠٨,٥	١٧٤,٩	٠,٠٦٢	١٠٤,٩	١٧٠	٠,٠٣-	٩٧,٥	٨١,٣١	٢٠٠٠
٠,٠٨١-	٩٧,٠	٣٩٤,٢	٠,١٦-	٩٣,٢	١٥٠,٣	٠,٠٦٧-	٩٨,٣	١٥٩,٣	٠,٠٤	١٠١,٥	٨٤,٥٣	٢٠٠١
٠,٠٠٩-	٩٦,١	٣٩٠,٦	٠,٠٠٣-	٩٠,٣	١٤٥,٦	٠,٠٠٧	٩٩,١	١٦٠,٥	٠,٠٠	١٠١,٥	٨٤,٥٣	٢٠٠٢
٠,٠١٩	٩٧,٩	٣٩٨,١	٠,٠٠٤	٩٤,٢	١٥١,٩	٠,٠١٠	١٠٠,٠	١٦٢,١	٠,٠١-	١٠١,٠	٨٤,٠٧	٢٠٠٣
٠,٠٢٤	١٠٠,٤	٤٠٧,٩	٠,٠١١-	٩٣,٢	١٥٠,٣	٠,٠٣٤	١٠٣,٦	١٦٧,٨	٠,٠٦	١٠٧,٩	٨٩,٨	٢٠٠٤
٠,٠٦١-	٩٤,٥	٣٨٤,٣	٠,١٦	١١٠,٩	١٧٨,٨	٠,٤٥٠-	٧١,٤	١١٥,٧	٠,٠٠	١٠٧,٩	٨٩,٨	٢٠٠٥
٠,٠١٦	١٠٦,٩	٤٣٤,٥	٠,٠٠٢	١١٢,٩	١٨٢	٠,٠٣٥	١٠٧,٣	١٧٣,٩	٠,١٤-	٩٤,٥	٧٨,٦٧	٢٠١٠
٠,٠٠٢	١٠٧,١	٤٣٥,٣	٠,٠٠١	١١٤,٠	١٨٣,٨	٠,٠١٤-	١٠٥,٨	١٧١,٥	٠,٠٢	٩٦,٢	٨٠,٠٨	٢٠١٥
٠,٠٧٥	١١٥,٧	٤٧٠,٤	٠,١١	١٢٨,٨	٢٠٧,٦	٠,٠٤٣	١١٠,٦	١٧٩,٢	٠,٠٤	١٠٠,٤	٨٣,٥٦	٢٠٢٤
-	-	٤٠٦,٥	-	-	١٦١,٢	-	-	١٦٢,٠	-	-	٨٣,٣	المتوسط

المصدر: بالاعتماد على تحليل الخط الطولي ورسم الأقسام الصناعية للفترة ١٩١٤م - ٢٠٢٤م



المصدر: بالاعتماد على تحليل الخرائط الطبوغرافية وصور الأقمار الصناعية الفترة ١٩١٤-٢٠٢٤م

شكل (٢٢) مواقع التباين للعمليات الجيومورفولوجية (أ) "النحت"، ب "الإرساب)

على طول ساحل منطقة الدراسة.



صورة (١٠) الكتل الحجرية لدعم الطريق
الدولي الساحلي علي شاطئ مدينة الإسكندرية،
شاطئ المنردة.



صورة (٩) الكتل الخرسانية لدعم المنشآت
الساحلية على شاطئ مدينة الإسكندرية،
شاطئ جليم.



صورة (١٢) السور الخرساني لدعم الطريق
الدولي الساحلي علي شاطئ مدينة الإسكندرية،
شاطئ إسحاق حلمي.



صورة (١١) الكتل الخرسانية لدعم المنشآت الساحلية
على شاطئ مدينة الإسكندرية،
شاطئ طويلب.



صورة (١٣) الكتل الخرسانية لدعم المنشآت الساحلية على شاطئ مدينة الإسكندرية،
كوبري ستانلي.

جدول (١٨) التوزيع المكاني لنطاقات النحت والإرساب على طول ساحل منطقة الدراسة.

القطاع	نحت					إرساب			إجمالي التغير	
	عدد المواقع	مساحة (كم ^٢)	%	المتوسط السنوي	عدد المواقع	مساحة (كم ^٢)	%	المتوسط السنوي	مساحة (كم ^٢)	%
الأول	٧	٢١.٢	٣١.٨	٠.١٩	١٥	٣.٣	٨.١	٠.٠٣	٢٤.٥	٢٢.٨
الثاني	٣٠	٣٧.٦	٥٦.٣	٠.٣٤	٢٧	٢١.٨	٥٣.٧	٠.٠٢	٥٩.٤	٥٥.٣
الثالث	١١٠	٨	١٢	٠.٠٧	١٠٩	١٥.٦	٣٨.٣	٠.١٤	٢٣.٦	٢١.٩
الإجمالي	١٤٧	٦٦.٨	٦٢.١	٠.٦١	١٥١	٤٠.٧	٣٧.٩	٠.٣٧	١٠٧.٥	١٠٠%

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على تحليل الخرائط الطبوغرافية وصور الأقمار الصناعية الفترة ١٩٨٥-٢٠٢٤م.

تاسعاً - تحليل السلاسل الزمنية للتنبؤ بتغيرات خط الساحل:

يعد أسلوب السلاسل الزمنية من الأساليب الإحصائية التي استخدمت في الدراسة من أجل التوقع المستقبلي لتتبع الظاهرة للفترة الزمنية ١٩٨٥ الي ٢٠٢٤م وتتكون السلسلة الزمنية من مكونات رئيسية هي الاتجاه العام ويقصد به التغير المنتظم والحال في قيم الظاهرة المدروسة نتيجة لتأثرها بعوامل معينة، والتغيرات الموسمية، وهي إما تغيرات موسمية أو تغيرات دورية خلال فترتين متتاليتين أو التغيرات العشوائية وهي التي تحدث نتيجة لتغيرات في قيم الظاهرة نتيجة لعوامل فجائية (سمير شعراوي، ٢٠٠٥م، ص ٢٦٢).

ويمكن من خلال تحليل السلاسل الزمنية تحليل الاتجاهات العامة للساحل خلال فترات الدراسة لتحديد الاتجاه العام لتغيرات خط الساحل على مر الزمن وتحديد: هل هذا التغير يندرج تحت تصنيف مورفولوجي يعبر عن (النحت أو الإرساب)، كما أمكن من خلال تحليل مستويات التغير خلال فترات زمنية بلغت ١١٠ عامًا حساب المعدلات الزمنية للتغيرات في خط الساحل، مما أفاد في فهم سرعة ومعدل التغير من أجل توظيف ذلك في التوقع العام للمواقع الأكثر تأثرًا بالتغيرات المستقبلية باستخدام أداة DSAS في إطار النمذجة التنبؤية للبيانات الزمنية المكانية للحصول علي تصور عن توقع تغيرات خط الساحل في المستقبل باستخدام المتغيرات المعروفة مثل معدلات النحت والإرساب استنادًا إلى السجلات السابقة خلال فترة زمنية تتراوح ما بين ١٠ إلى ٢٠ عامًا.

ويتضح من تحليل بيانات تغيرات خط الساحل بمنطقة الدراسة أن هناك العديد من الطرق الإحصائية التي يمكن من خلالها إبراز حجم التغيرات الجيومورفولوجية والتطور المرهلي لمورفولوجية خط الساحل حيث يتضح من تحليل الجدول السابق رقم (١٧) أن قطاعات النحت بلغ إجمالي عددها ٢١٥٦ بنسبة ٥٤.٩٧% من إجمالي قطاعات منطقة الدراسة، وقد بلغت أقصى مسافة تراجع فيها خط الساحل خلال سنوات الدراسة فيما بين عامي ١٩١٤م و ٢٠٢٤م نحو ٣٦٧٣ مترًا في القطاع

رقم ٧٧٤ أمام خط الساحل بالقطاع الأول بمتوسط مسافة تراجع بلغت ٢٠٩.٣ مترًا وذلك خلال ١١٠ عامًا، بينما نطاقات الإرساب بلغ إجمالي عددها ١٧٦٦ قطاعًا بنسبة ٤٥.٠٣٪ من إجمالي قطاعات منطقة الدراسة، وقد بلغت أقصى مسافة إرساب خلال سنوات الدراسة فيما بين عام ١٩١٤م وحتى ٢٠٢٤م نحو ٣٩٧٧.٧ مترًا في القطاع رقم ٣٩٢٠ أمام ساحل القطاع الثالث بمتوسط مسافة بلغت ١٦٠.٣ مترًا، وقد تم العمل على تحليل مجموعة من المؤشرات التصيلية التي تعمل على دراسة وتحليل مؤشرات التغيرات الجيومكانية والتي يمكن تلخيصها في خمسة مؤشرات رئيسية هي:

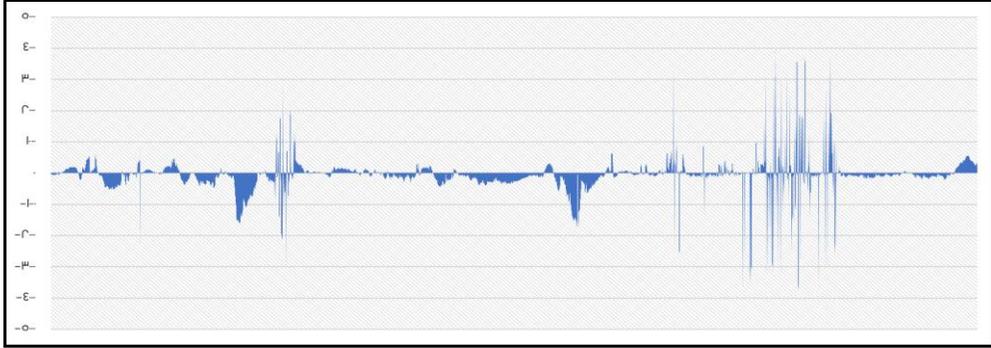
(١) مؤشر صافي حركة خط الساحل (NSM) Net Shoreline Movement:

وهو يعبر عن صافي حركة خط الساحل أو المسافة المتغيرة بين خط الساحل القديم والجديد، وذلك خلال فترة زمنية محددة لفهم تأثير الضوابط الطبيعية والبشرية المؤثرة في هذه التغيرات، ويتم عبر مقارنة خط الساحل من حيث مسافة التغير بين كل من أقدم مسار وأحدث مسار على طول خط الشاطئ ومن ثم حساب الفارق بينها لتحديد الاتجاه العام لحركة خط الساحل، سواء كانت زيادة أو نقصانًا في الطول (Thieler et al., ٢٠٠٩, p. ١٧١١) حيث اتضح من تحليل جدول (١٨) وشكل (٢٣) أن متوسط مسافة صافي حركة خط الشاطئ بلغت نحو -٢٠٩.٢٥ مترًا، وبلغت أقصى مسافة لتراجع خط الساحل في منطقة الدراسة بفعل النحت بلغت نحو -٣٦٧٣.٧ مترًا، وذلك في العديد من المواقع على طول خط الساحل أبرزها: الإسكندرية ورشيد ودمياط وبورسعيد شكل (٢٤) و (٢٥) و (٢٦).

جدول (١٨) التوزيع نسبي لمعدلات النحت والإرساب على طول ساحل منطقة الدراسة

الإرساب		النحت		معدل النحت/الإرساب (م/عام)	
%	الاطوال/كم	%	الاطوال/كم		
٠.٤٥	٣.٤	٠.٦٤	٧.٧	منخفض جدًا	صفر - ٢
١.٢٣	٩.٣	٠.٨١	٩.٧	منخفض	٢ لأقل من ٥
٢.١٦	١٦.٣	١.٧٣	٢٠.٨	متوسط	٥ لأقل من ١٠
٨.١١	٦١.٢	٥.٣٤	٦٤.١	مرتفع	١٠ لأقل من ٣٠
٨٨.٠٥	٦٦٤.٨	٩١.٤٧	١٠٩٧.٥	مرتفع للغاية	أكثر من ٣٠ متر/عام
١٠٠	٧٥٥	١٠٠	١١٩٩.٨	الإجمالي	

المصدر: بالاعتماد على تحليل الخرائط الطبوغرافية وصور الأقمار الصناعية الفترة ١٩٨٥-٢٠٢٤م.

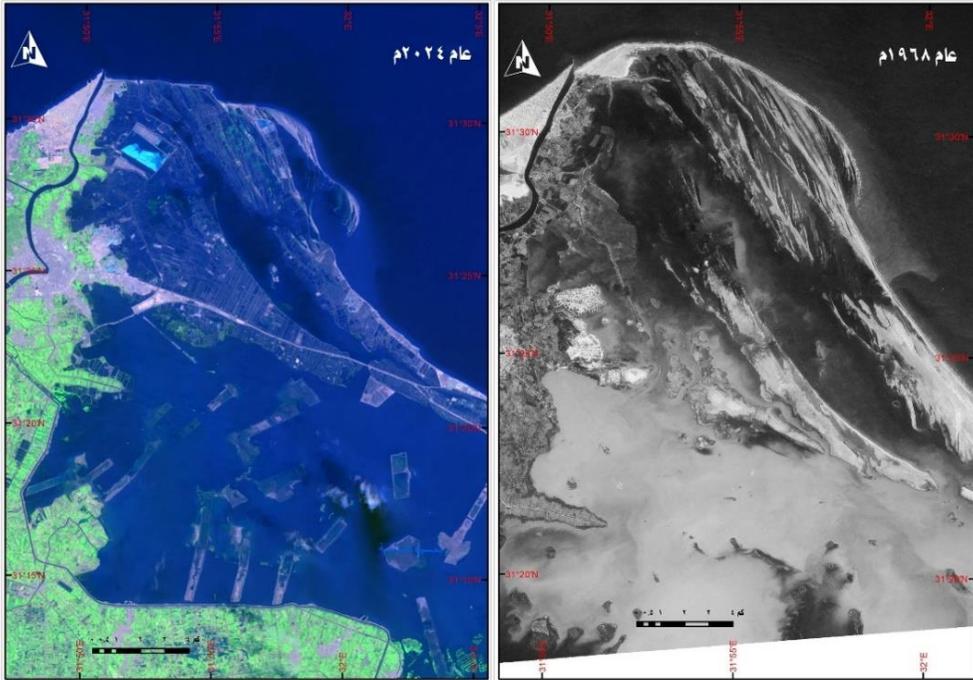


شكل (٢٣) نتائج تحليل مؤشر NSM لصافي تغير خط الساحل الفترة ١٩١٤م-٢٠٢٤م.



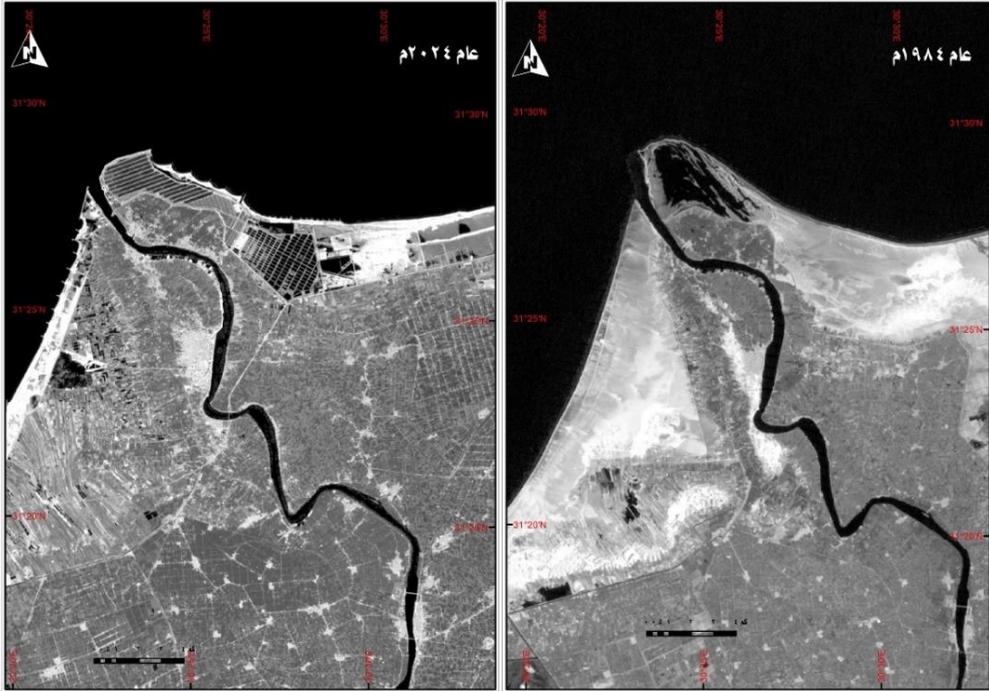
المصدر: بالاعتماد على تحليل الخرائط الطبوغرافية وصور الاقمار الصناعيه الفترة ١٩٨٥-٢٠٢٤م.

شكل (٢٤) التوزيع الجغرافي لمستويات حركة خط الساحل NSM على طول ساحل منطقة الدراسة.



المصدر: بالاعتماد على تحليل الخرائط الطبوغرافية وصور الاقمار الصناعيه الفترة ١٩٨٥-٢٠٢٤م.

شكل (٢٥) تغيرات خط الساحل على فرع دمياط الفترة ١٩٦٨-٢٠٢٤م.



المصدر: بالاعتماد على تحليل الخرائط الطبوغرافية وصور الاقمار الصناعية الفترة ١٩٨٥-٢٠٢٤م.
شكل (٢٦) تغيرات خط الساحل على فرع رشيد الفترة ١٩٨٤-٢٠٢٤م.

٢) مؤشر التغير الخطي الإحصائي للساحل على مر الزمن (LRR): Linear Regression Rate

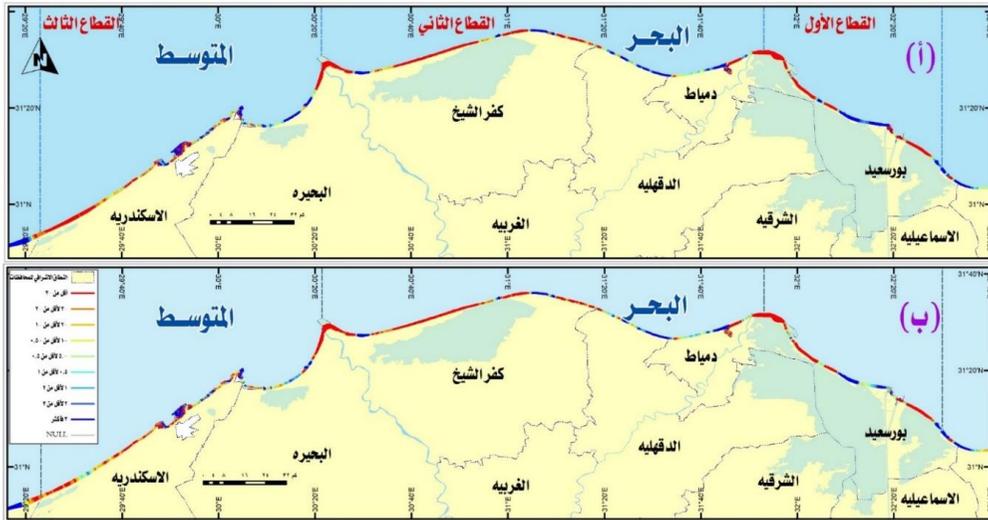
يهدف هذا المؤشر إلى قياس معدل التغير في خط الساحل إحصائيًا خلال فترة زمنية محددة باستخدام تحليل الانحدار الخطي من خلال تقدير معدل التغير في موقع خط الساحل في كل سنة من خلال تحليل البيانات الزمنية المتاحة على كافة مواقع خط الساحل عبر فترة زمنية معينة، حيث يتم استخدام تقنيات الانحدار الخطي لتحديد الاتجاه وسرعة التغير في موقع خط الساحل على مدى الزمن (Thieler et al., ٢٠٠٩, p. ١٧١٣).

حيث يتضح من تحليل جدول (١٩) وشكل (٢٧/أ) أن القطاع رقم ٧٦١ كان أكثر القطاعات المتأثرة بالنحت حيث بلغت قيمة أعلى معدل تغير خطي إحصائي به نحو -١٤٤.٧٩، بينما القطاع رقم ١٠٥٣ كان أكثر القطاعات التي حدث فيها إرساب حيث بلغت قيمة أعلى معدل تغير خطي إحصائي به نحو ١١٣.٤٨، وقد بلغت قيمة متوسط التغير الخطي الإحصائي للنحت -٧.٤٨، بينما بلغت قيمته في الإرساب نحو ٤.٨٢.

جدول (١٩) نتائج المؤشر لنطاقات النحت والإرساب بمنطقة الدراسة الفترة ١٩١٤-٢٠٢٤م.

المعامل الإحصائي	المؤشر	النحت	%	الإرساب	%
إجمالي عدد القطاعات	NSM	٢١٥٦	٥٤.٩٧%	١٧٦٦	٤٥.٠٣%
أقصى مسافة		٣٦٧٣.٧-		٣٩٧٧.٧	
رقم أكثر قطاع متأثر		٧٧٤		٣٩٢٠	
متوسط مسافة التغير في خط الساحل (متر)		٢٠٩.٢٥-		١٦٠.٢٧	
أعلى معدل تغير سنوي م/عام	EPR	١٠٤.٩٦-		٩٨.٣٦	
متوسط معدل تغير سنوي م/عام		٦.٠٨-		٤.٦٨	
رقم أكثر قطاع متأثر		٧٧٤		٧٦٦	
إجمالي عدد القطاعات	LRR	١٨٧٠	٤٧.٧%	٢٠٤٤	٥٢.٢%
أعلى معدل تغير خطي احصائي		١٤٤.٧٩-		١١٣.٤٨	
رقم أكثر قطاع متأثر		٧٦١		١٠٥٣	
متوسط التغير الخطي الاحصائي		٧.٤٨-		٤.٨٢	

المصدر: بالاعتماد على تحليل الخرائط الطبوغرافية وصور الاقمار الصناعية الفترة ١٩٨٥-٢٠٢٤م.



المصدر: بالاعتماد على نتائج تحليل خط الساحل خلال الفترة ١٩١٤-٢٠٢٤م بالاعتماد على أداة DSAS.

شكل (٢٧/أ) مؤشر LRR التغير الخطي الإحصائي للساحل خلال الفترة ١٩١٤-٢٠٢٤م.

شكل (٢٧/ب) مؤشر EPR لمعدل تراجع خط الساحل خلال الفترة ١٩١٤-٢٠٢٤م.

٣) مؤشر معدل تراجع خط الساحل (EPR) End Point Rate:

يستخدم لقياس سرعة تغير خط الساحل عند نقطة معينة سواء كانت بالتراجع "تحت" أو تقدم "إرساب" خلال فترة زمنية محددة على خط الساحل (Thieler, et al., ٢٠٠٩, p. ١٧١٢). وقد اتضح من تحليل جدول (١٩) وشكل (٢٧/ب) أن متوسط (EPR) الذي يتم حسابه من خلال معرفة المسافة الخطية بين أقدم وأحدث خط ساحل مقسومة على الفاصل الزمني والبالغ ١١٠ عامًا بلغ نحو - ١.٢٤ مترًا، في حين بلغ متوسط قيمة كل من (LRR) الذي يرمز إلى معدل الانحدار الخطي - ٢١. مترًا.

٤) مؤشر نطاق تغيرات خط الساحل (SCE) Shoreline Change Envelope:

وهو يعبر عن نطاق تغيرات خط الساحل حيث يتم استخدام هذا المؤشر في تقدير النطاق الذي يمكن أن يتحرك فيه خط الساحل نتيجة لعوامل مختلفة مثل التآكل الطبيعي، التغيرات في مستوى سطح البحر، وتأثير الأنشطة البشرية، وفي المعتاد يُقدم مؤشر تغيرات خط الساحل على شكل مجموعة من الخطوط أو المناطق التي تحيط بخط الساحل الحالي، حيث تمثل النطاقات المتوقعة للتغير في موقع خط الساحل خلال فترة زمنية معينة (Thieler et al., ٢٠٠٩, p. ١٢٤).

كما يتضح أن أقصى مسافة تحرك فيها خط الساحل خلال سنوات الدراسة (SCE) بلغت نحو ٣٩٢١.٦ مترًا، وقد سجل ذلك في القطاع رقم ٧٦٣، بينما سجل القطاع رقم ١٦٢١ أدنى مسافة برقم ٥.٩٤ مترًا، كما يتضح من تحليل شكل (٢٨) وجدول (٢٠) أنه يمكن تقسيم ساحل منطقة الدراسة وفقًا لتغيرات خط الساحل (SCE) للفئات التالية:

- **النطاق المستقر (صفر - ٢٠٠ متر):** وهو يشغل إجمالي مسافة بلغت ٢٧٠.٨ كم بنسبة ١٥.٧٪ على طول ساحل منطقة الدراسة.
- **نطاق التغير المنخفض (٢٠٠ لأقل من ٥٠٠ متر):** وهو يشغل إجمالي مسافة بلغت ٥٠٥.٣ كم بنسبة ٢٩.٢٪ على طول ساحل منطقة الدراسة.
- **نطاق التغير المتوسط (٥٠٠ لأقل من ٢٠٠٠ متر):** وهو يشغل إجمالي مسافة بلغت ٣٢٣.٦ كم بنسبة ١٨.٧٪ على طول ساحل منطقة الدراسة.
- **نطاق التغير المرتفع (أكثر من ٢٠٠٠ متر):** وهو يشغل إجمالي مسافة بلغت ٦٢٩.٥ كم بنسبة ٣٦.٤٪ على طول ساحل منطقة الدراسة.

جدول (٢٠) نتائج مؤشر (SCE) على مستوي قطاعات منطقة الدراسة الفترة ١٩١٤-٢٠٢٤م.

القطاع		مستقر	منخفض	متوسط	مرتفع	الإجمالي
القطاع الأول	العدد	١٣١	٤٦٤	٣	٢١١	٨٠٩
	%	١٦.٢	٥٧.٤	٠.٤	٢٦.١	١٠٠
	الطول كم	١٩.٨	١٦٧.٥	٥.٣	١٧١.٤	٣٦٤.٠
	%	٥.٤	٤٦.٠	١.٥	٤٧.١	١٠٠
القطاع الثاني	العدد	٨٩٠	٥٩٤	٣٠	١٩٥	١٧٠.٩
	%	٥٢.١	٣٤.٨	١.٨	١١.٤	١٠٠
	الطول كم	١٢٢.٢	١٧٤.٦	٤٣.٦	١٧٠.٣	٥١٠.٧
	%	٢٣.٩	٣٤.٢	٨.٥	٣٣.٣	١٠٠
القطاع الثالث	العدد	٨٣٦	٤٥٢	١٥٩	٣٤٩	١٧٩٦
	%	٤٦.٥	٢٥.٢	٨.٩	١٩.٤	١٠٠
	الطول كم	١٢٨.٨	١٦٣.٢	٢٧٤.٧	٢٨٧.٨	٨٥٤.٥
	%	١٥.١	١٩.١	٣٢.١	٣٣.٧	١٠٠
الإجمالي	العدد	١٨٥٧	١٥١٠	١٩٢	٧٥٥	٤٣١٤
	%	٤٣.٠	٣٥.٠	٤.٥	١٧.٥	١٠٠
	الطول كم	٢٧٠.٨	٥٠٥.٣	٣٢٣.٦	٦٢٩.٥	١٧٢٩
	%	١٥.٧	٢٩.٢	١٨.٧	٣٦.٤	١٠٠

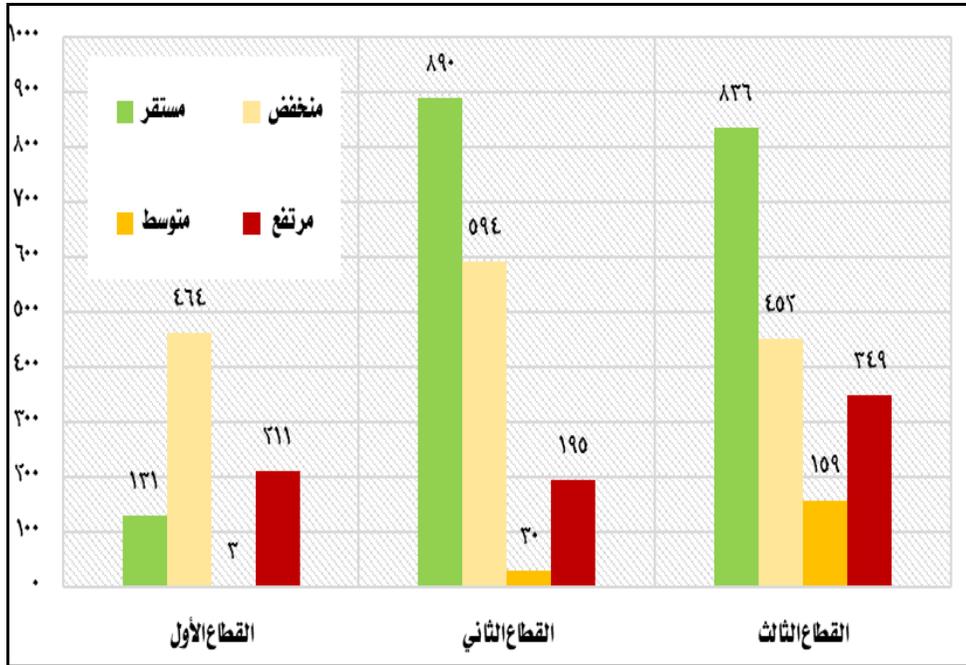
المصدر: بالاعتماد على تحليل الخرائط الطبوغرافية وصور الأقمار الصناعية الفترة ١٩١٤-٢٠٢٤م.

يتضح من تحليل شكل (٢٩) و(٣٠) أن القطاع الثاني كان أكثر القطاعات من حيث معدلات الاستقرار حيث بلغ إجمالي عددها ٨٩٠ قطاعاً، بينما جاء القطاع الثالث في المرتبة الأولى من حيث التغير المرتفع بإجمالي عدد قطاعات بلغ ٣٤٩ قطاعاً، وبالرغم من ذلك كانت نتائج إجمالي أطوال القطاعات في اختلاف مع ذلك حيث جاء إجمالي أطوال القطاعات مرتفعة التغير بالقطاع الثالث في المرتبة الأولى بإجمالي طول بلغ ٢٨٧.٨ كم.

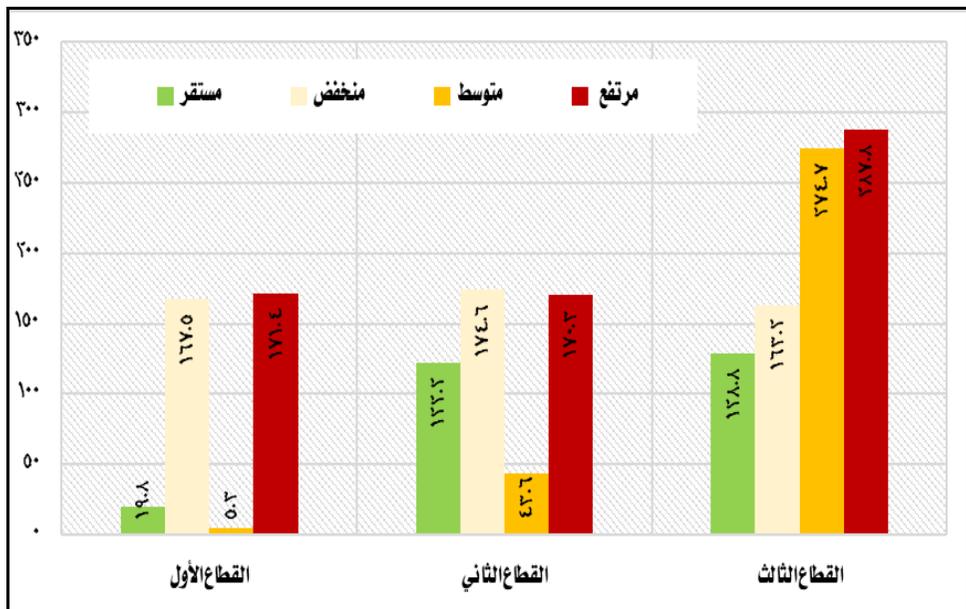


المصدر: بالاعتماد على تحليل الخرائط الطبوغرافية وصور الأقمار الصناعية الفترة ١٩١٤-٢٠٢٤م.

شكل (٢٨) مستويات الاستقرار النسبي ومعدلات تغير خط الساحل SCE خلال الفترة ١٩١٤-٢٠٢٤م



شكل (٢٩) التصنيف النسبي لإجمالي أعداد القطاعات وفق مستويات تغير خط الساحل SCE بمنطقة الدراسة



شكل (٣٠) التوزيع النسبي لإجمالي أطوال القطاعات وفق مستويات تغير خط الساحل SCE بمنطقة الدراسة.

عاشراً - النتائج والاستنتاجات:

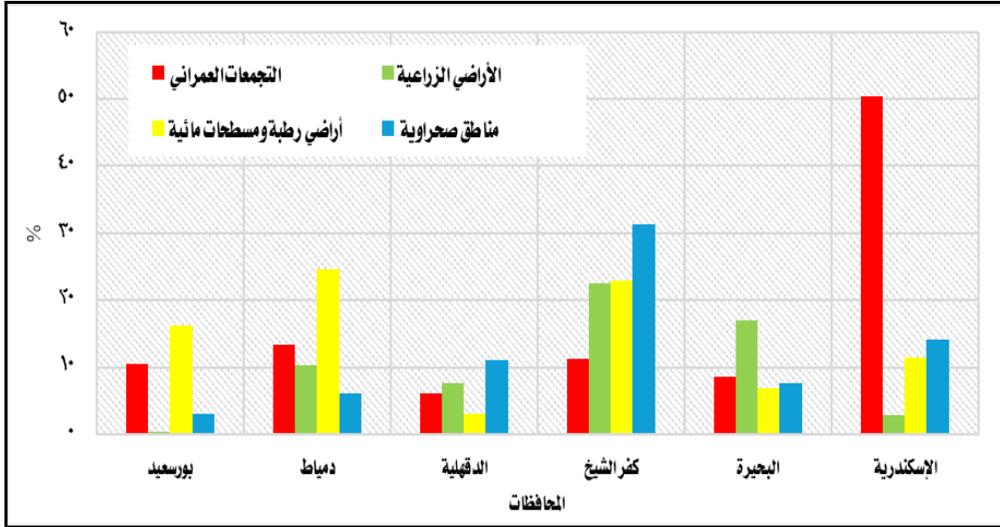
يلاحظ من خلال الاعتماد على تحليل البيانات المختلفة للفترة ما بين عام ١٩١٤م وحتى ٢٠٢٤م ومع تتبع تغيرات خط الساحل على طول منطقة الدراسة وتحديد مناطق النحت والإرساب على طول الساحل إضافة إلى الاعتماد على نموذج الارتفاعات الرقمي DEM بدقة ١٢.٥ متر لتقدير إجمالي مساحة المناطق المتأثرة بتراجع خط الساحل والتي بلغ إجمالي مساحتها ١٠٦٠.٨ كم^٢ لما يوازي ٧.٥% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وقد توزعت علي (٦) محافظات، ومن تحليل جدول (٢١) أن محافظة الإسكندرية أكثر المحافظات الساحلية تأثراً بتغيرات خط الساحل حيث بلغ إجمالي المناطق المهدهدة نحو ٢٦٢.٠٤ كم^٢، بينما جاءت محافظة الدقهلية أدنى المناطق تأثراً بأخطار تغيرات خط الساحل بمساحة بلغت ٨.٥ كم^٢، كما يلاحظ من تحليل شكل (٣١) أن الكتلة العمرانية هي الاستخدام الأكثر تأثراً بتراجع خط الساحل في محافظة الإسكندرية، في حين شغلت محافظة كفر الشيخ الترتيب الأول في الأراضي الزراعية المتضررة من تغيرات خط الساحل، إذ بلغ إجمالي مساحة الأراضي المتأثرة بذلك نحو ٧٤.٩ كم^٢.

جدول (٢١) التوزيع الجغرافي لأنماط الغطاء الارضي المتأثرة

بتراجع خط الساحل حتى عام ٢٠٣٤م.

المحافظة	أنماط استخدامات الأراضي المتأثرة بتراجع خط الساحل حتى ٢٠٣٤م				إجمالي المساحة كم ^٢	%
	التجمعات العمرانية/كم ^٢	الأراضي الزراعية/كم ^٢	أراضي رطبة ومسطحات مائية /كم ^٢	مناطق صحراوية/كم ^٢		
بورسعيد	٣٤.٦٩	٠.٩٤	٥٤.١٠	١٠.٢٣	٩٩.٩٧	٩.٤٢
دمياط	٤٤.٤١	٣٤.٠٢	٨١.٨١	٢٠.٣٨	١٨٠.٦٣	١٧.٠٣
الدقهلية	٢٠.٠٩	٢٥.٥٧	١٠.٢٣	٣٦.٧٩	٩٢.٦٨	٨.٧٤
كفر الشيخ	٣٧.٤٦	٧٤.٨٨	٧٦.٣٥	١٠٣.٨١	٢٩٢.٥٠	٢٧.٥٧
البحيرة	٢٨.٥٣	٥٦.٤١	٢٢.٧٧	٢٥.٢٧	١٣٢.٩٨	١٢.٥٤
الإسكندرية	١٦٧.٢٦	٩.٦٩	٣٧.٨٧	٤٧.٢١	٢٦٢.٠٤	٢٤.٧٠
الإجمالي	٣٣٩.٠٤	٢٥٠.٥٨	٤١٠.١٩	٢٤٣.٨٩	١٢٤٣.٧	٪١٠٠

المصدر: بالاعتماد على نتائج تحليل صور الأقمار الصناعية ٢٠٢٤م.



المصدر: بالاعتماد على بيانات جدول (٢٠).

شكل (٣١) التوزيع النسبي لأنماط استعمالات الأراضي المتأثرة بتراجع خط الساحل حتى ٢٠٣٤م.

الخلاصة:

- ١- لا يوجد توازن في معدلات النحت والإرساب في شمال الدلتا، فهناك مساحة مفقودة تقدر بنحو ٢٦.١ كم^٢ تم نحتها ثم ترسيبها في مواقع أخرى خارج منطقة الدراسة.
- ٢- أثرت العديد من العوامل مثل: تغيرات مستوى سطح البحر نتيجة تغير المناخ أو الأنشطة البشرية غير المدروسة من منشآت أو وسائل دفاع تمت إقامتها في بعض المواقع أمام ساحل الدلتا مما أدى إلى زيادة عمليات النحت في مواقع والترسيب في مواقع أخرى داخل منطقة الدراسة وخارجها.
- ٣- كان لتوظيف التقنيات الجيومكانية أهمية بالغة في تتبع أنماط التغيرات في الغطاء الأرضي ومدى توافق ذلك بيئياً مع أعمال التنمية المستدامة.
- ٤- أفادت وسائل معالجة صور الأقمار الصناعية في تحليل الغطاء الأرضي والتي لم تكن واضحة من قبل بسبب العديد من المشكلات والتشوهات التي تحتويها صور الأقمار الصناعية في المعتاد اضافته الي عمليات تحسين صور الأقمار الصناعية بما ساعد علي رسم خرائط الغطاء الأرضي بشكل موضوعي وبدقة عالية.
- ٥- أبرز توظيف البرمجة والذكاء الاصطناعي في تدقيق نتائج تحليل أنماط الغطاء الأرضي Land Cover بالاعتماد على منهجية Deep Learn نتائج مميزة للوصول إلى تحليلات

الأكثر دقة وأرشف صور الأقمار الصناعية في منصة Google Earth Engine وتطبيق النموذج على صور أقمار صناعية عالية الدقة لرصد الوضع بشكل أكثر مصداقية وخفض نسب التعميم في قيم الـ Pixels المكانية.

- ٦- أهمية توظيف تقنيات الجيوماتكس في تقييم معدلات التدهور البيئي لساحل شمال الدلتا بشكل دوري، مع تطبيق نماذج المحاكاة للتنبؤ بالنتائج المحتملة عند تنفيذ الحلول لمجابهة أخطار تغيرات خط الساحل شمال الدلتا مع أهمية الدراسة الميدانية بشكل أساسي وتوظيف أعمال النمذجة والمحاكاة للوصول إلى فهم أكثر دقة لنمط تغيرات الساحل في شمال الدلتا.
- ٧- أهمية الربط المكاني بين خطط التنمية العمرانية ودراسات تقييم أخطار تغيرات خط ساحل شمال الدلتا لتحديد أنسب المواقع للتنمية العمرانية والحضرية الآمنة.
- ٨- تقييم دور الإنسان بوصفه عاملاً جيومورفولوجياً، والاتجاه نحو جعله عاملاً تنموياً للبيئة بدلاً من كونه عامل تدهور واضمحلال، والعمل على وضع خطة تدابير وقائية لضمان الحفاظ على البيئة الساحلية وحمايتها من التدهور يكون الانسان إيجابي فيها أكثر من كونه سلبياً.

المراجع العربية والأجنبية

- ١- أحمد محمد العدوي (١٩٧٣م): سواحل مصر، مجلة كلية الآداب، المجلد الخامس، الجزء الأول، القاهرة.
- ٢- إسلام أحمد حامد أحمد (٢٠٢٢م): إنتاج الخرائط الجيومورفولوجية للرصيف القاري للساحل الغربي البحر الأحمر، مصر، بين رأس حدرية ورأس جمسة، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب، جامعة حلوان.
- ٣- بهجت إبراهيم (٢٠١٢م): دراسة تغيرات طاقة الأمواج البحرية في منطقة المنارة - طرطوس سوريا، أبحاث مجلة العلوم السياسية والهندسية، المجلد ٢١، العدد ١، دمشق.
- ٤- جودة حسنين جوده (١٩٩٨م): جغرافية البحار والمحيطات، منشأة المعارف، الإسكندرية.
- ٥- حسن رمضان سلامة (٢٠٠٤م): أصول الجيومورفولوجيا، الطبعة الأولى، دار المسيرة، الأردن.
- ٦- حسن سيد أحمد أبو العينين (١٩٨٩م): أصول الجيومورفولوجيا، دراسة الأشكال التضاريسية لسطح الأرض، الطبعة الخامسة، مؤسسة الثقافة الجامعية مصر.
- ٧- حمدينه عبد القادر السيد العوضي (٢٠٠٦م): الحواجز المنفصلة في شواطئ مصيف بلطيم، المجلة الجغرافية العربية، مجلة الجمعية الجغرافية المصرية، العدد التاسع والأربعون، الجزء الأول.
- ٨- خنساء ملحم (٢٠١٧): نظم تصنيف الغطاء الأرضي و استخدامات الأراضي (دراسة في الأساس النظري والمنهجي)، مجلة جامعة دمشق، مجلد ٣٣، العدد الثاني، جامعة دمشق، سوريا.
- ٩- راضي كاظم الراشدي (١٩٨٧م): علاقة التربة بالنبات، دار الكتب للطباعة والنشر، البصرة.
- ١٠- سعد مصباح ومحمد عبد الرحمن (٢٠٠٣م): مقدمة في الفيزياء البحرية، الأكاديمية العربية للعلوم والتكنولوجيا والنقل البحري، الإسكندرية.
- ١١- سمير مصطفى شعراوي (٢٠٠٥م): مقدمة في التحليل الحديث للسلاسل الزمنية، كلية العلوم، جامعة الملك عبد العزيز، المملكة العربية السعودية.
- ١٢- سناء عبده الشامسي (٢٠١٥): مستقبل البحيرات الطبيعية المصرية مجلة أسبوط للدراسات البيئية، العدد الحادي والأربعون، جامعة أسيوط، مصر.

- ١٣- طلبة طلبية برهام عبد الهادي (٢٠١١م): تغيرات مستوى سطح البحر المتوسط وتأثيرها في دلتا النيل "دراسة في جغرافية البيئة" رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة المنصورة.
- ١٤- عبد الله علام عبده علام (٢٠١٠م): حماية سواحل دلتا النيل وتأثير التغيرات المناخية عليها، دراسة جيومورفولوجية تطبيقية، دراسة حالة، محافظة كفر الشيخ.
- ١٥- عبد الله علام عبده علام (٢٠٠٥م): التطور الجيومورفولوجي لدلتا نهر النيل خلال الزمنين الثالث والرابع الجيولوجيين، مؤتمر الفيوم الخامس في الفترة ٢-٤ أبريل، جامعة القاهرة، فرع الفيوم.
- ١٦- علي حسين الشلش (١٩٨١م): جغرافية التربة، الطبعة الأولى، جامعة البصرة، البصرة، مطبعة جامعة البصرة.
- ١٧- علي مصطفى مرغني (١٩٨٨م): التغيرات المورفولوجية المترتبة عي الأخطار الطبيعية في المنطقة الساحلية بجمهورية مصر العربية، المؤتمر السنوي الثالث، جامعة عين شمس.
- ١٨- عمرو عبد الله إسماعيل القصاب (٢٠٢١م): تكامل نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في النمذجة الخرائطية لاستعمالات الأرض "قضاء سخل أربيل أنموذجًا"، رسالة دكتوراه غير منشوره، كلية التربية للعلوم الإنسانية، قسم الجغرافية، جامعة الموصل.
- ١٩- فتحي عبد العزيز أبو راضي (١٩٩٠م): ديناميات التعرية الشاطئية والتغيرات المعاصرة لساحل دلتا النيل، مجلة كلية الآداب، جامعة طنطا، العدد السادس.
- ٢٠- كمال سروجي درويش سروجي (٢٠١٧م): استخدام تقنيات الاستشعار عن البعد ونظم المعلومات الجغرافية GIS في نمذجة وتقييم وتحليل تغير مستوى سطح البحر وتراجع الشواطئ واخطار التعرية الساحلية علي ساحل دلتا النيل في مصر، رسالة دكتوراه غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعتي المنيا وفلوريدا.
- ٢١- محمد سعيد البارودي (٢٠١٨م): أسس الجيومورفولوجيا العملية والشكل، القاهرة، دار الفكر العربي.
- ٢٢- محمد صبري محسوب (١٩٩١م): جيومورفولوجية السواحل، القاهرة، دار الثقافة والنشر والتوزيع.
- ٢٣- ناصر بن عبد الله الصالح، محمد محمود السرياني (٢٠٠٠م): الجغرافيا الكمية والإحصائية "أسس وتطبيقات بالأساليب الحاسوبية الحديثة"، مكتبة العبيكان، المملكة العربية السعودية.

- ٢٤- نصر عبد السجاد عبد الحسن الموسوي، التباين المكاني لخصائص التربة في محافظة البصرة، رسالة دكتوراه غير منشورة، جامعة البصرة.
- ٢٥- وليد خالد الكعبي (١٩٨٦م): علم البيدولوجي، مسح وتصنيف الترب، جامعة بغداد، بغداد.
- ٢٦- وهبه حامد شلبي (٢٠٠٣م): جيومورفولوجية الرؤوس الأرضية لساحل مصر الشمالي الغربي دراسة جيومورفولوجية، رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب، جامعة طنطا.
- ٢٧- وهبه حامد شلبي (٢٠١٢م): أثر التدخل البشري على جيومورفولوجية الشواطئ البحرية: دراسة حالة شاطئ مدينة بورسعيد، المجلة الجغرافية العربية، الجمعية الجغرافية المصرية، العدد ٦٠، ص ص ٤١-١٠٣.
- ٢٨- Adeli, Z., & Khorshiddoust, A. (٢٠١١) Application of geomorphology in urban planning: Case study in landfill site selection. Procedia - Social and Behavioral Sciences, ١٩, ٦٦٢-٦٦٧.
- ٢٩- Ahmed Abd EL-Ranmah. (٢٠١٦) Land Use and Land Cover Change Assessment of Northwestern Sinai, Egypt Utilizing Remote Sensing and Geographical Information Systems Techniques (Master's thesis) Suez Canal University.
- ٣٠- Attia, S. H. (١٩٧٥) Petrology and soil genesis of the Quaternary deposits in the region west of the Nile delta north and east of Wadi Elnatron (Doctoral dissertation). Faculty of Science, Ain Shams University, Cairo.
- ٣١- Bhat, P. A., Shafiq, Maul, Mir, A. A., & Ahmed, P. (٢٠١٧) Urban sprawl and its impact on land use/land cover dynamics of Dehradun City, India. International Journal of Sustainable Built Environment, ٦, ٥١٣-٥٢١.
- ٣٢- Brochier, F., & Ramieri, E. (٢٠٠١). Climate Change Impact of the Mediterranean Coastal Zones. Fondazione Eni Enrico Mattei. Milano.
- ٣٣- Daniel, E. A. (٢٠٠٧) Impact of Coastal Erosion and Sedimentation along the Northern Coast of Sinai Peninsula (Doctoral dissertation). Lund University.
- ٣٤- David, M., & Amit P. (٢٠١٠) Coastal Zones and Climate Change. The Henry Stimson Center. ISBN: ٩٧٨-٠-٩٨٢١٩٣٥-٥-٦.
- ٣٥- Davies, J. L. (١٩٨٠) Geographical Variation to Coastal Development (٢nd ed.). Longman (Pearson Education Limited).
- ٣٦- Fanos, A.M.; Khafaji, A.A. and Dean, R.G. (١٩٩٥): Protective works on the Nile Delta coast. J. Coast. Res., ١١: ٥١٦-٥٢٨.
- ٣٧- FitzGerald D. M., et al, (٢٠٠٨) "Coastal Impacts Due to Sea-Level Rise," Annual Review of Earth and Planetary Sciences ٣٦.
- ٣٨- Hapke, C., Schwab, W., Gayes, P., McCoy, C., Viso, R., & Lentz, E. (٢٠١١) Morphologic Controls on the Dynamics of the Beach and Bar System, Fire Island, New York. In J.D. Rosati, P. Wang, & T.M. Roberts (Eds.), Coastal Sediments ٢٠١١ (pp. ١٠٣٤-١٠٤٧). American Society of Civil Engineers.
- ٣٩- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (٢٠٠٧). Climate Change ٢٠٠٧: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In Core Writing Team, R.K. Pachauri, & A. Reisinger (Eds.), Geneva, Switzerland: IPCC.

- ٤٠- Mueller, J. E. (١٩٦٨) An Introduction to the Hydraulic and Topographic Sinuosity Indexes. Annals of the Association of American Geographers, ٥٨, ٣٧١-٣٨٥.
- ٤١- Niang, A. J. (٢٠٢٠) Monitoring Long-Term Shoreline Changes along Yanbu, Kingdom of Saudi Arabia Using Remote Sensing and GIS Techniques. Journal of Taibah University for Science, ١٤, ٧٦٢-٧٧٦.
- ٤٢- Thieler, E. R., Himmel stoss, E. A., Zichichi, J.L., & Ergul, A. (٢٠٠٩). The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version ٤,٠-An ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change; U.S. Geological Survey Open-File Report ٢٠٠٨-١٢٧٨ v ٤,٢.
- ٤٣- Vos, K., Splinter, K. D., Harley, M. D., Simmons, J. A., & Turner, I. L. (٢٠١٩) CoastSat: A Google Earth Engine-Enabled Python Toolkit to Extract Shorelines from Publicly Available Satellite Imagery. Environmental Modelling & Software, ١٢٢, ١٠٤٥٢٨.