Studying and Analyzing the Immersion Scenario on Latakia Coast using Geographic Information Systems

Dr. Muhammad Duraid A. ALAA EDDIN*
Dr. Mounzer A. HAMMAD **
Venus J. IBRAHIM ***

(Received 14 / 8 / 2024. Accepted 20 / 10 / 2024)

□ ABSTRACT □

Studying the scenario of inundation resulting from sea level rise is one of the vital aspects in the field of environmental and engineering sciences, especially with the increasing climate change and its escalating impact on the coastal environment. This research aims to quantitatively estimate the impacts of sea level rise and the development of potential flood scenarios in the coastal region in Lattakia governorate in Syria.

The research relies on the use of Geographic Information Systems (GIS) to collect and analyze relevant spatial data, which enables us to draw maps showing areas at risk based on expected sea level rise scenarios. In addition to using analytical models to estimate the potential impacts of floods and specifically on water resources, which helps in developing planning policies and adaptation measures that enhance resilience and sustainability in the face of climate change challenges on the coasts. In addition to taking appropriate preventive measures to reduce potential negative effects, which may reach the point of affecting the lives of humans and living organisms in the affected areas.

Analysis of the inundation scenarios (1.00 m, 1.50 m, 8.82 m) revealed the presence of dangerous indicators of damage to water resources adjacent to the coast of Lattakia governorate, especially rivers, irrigation canals, barmaids and waterways, as well as wells, water tanks, springs. According to the simulation, flooded areas reached (10.29 km^2, 13.12 km^2, 55.59 km^2) respectively for scenarios (1.00 m, 1.50 m, 8.82 m), and the estimated damage were (16,674 km) of rivers, (24,405 km) of irrigation canals, (14,171 km) of barmaids, and (17,972 km) of waterways within the most dangerous inundation scenario (8.82 m).

Keywords: sea level rise, flood scenario, Geographic Information Systems, water resource impacts, climate change.

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Associate Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. alaedeen@gmail.com**

** **Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. mounzer.hammad@gmail.com**

*** **Postgraduate Student (Master), Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. venus.ibrahim@tishreen.edu.sy**

دراسة وتحليل سيناريو الغمر على ساحل اللّاذقيّة باستخدام نظم المعلومات الجغرافيّة

د. محمد دريد علي علاء الدين*

د. منذر علي حماد**

فينوس جابر ابراهيم***

(تاريخ الإيداع 14 / 8 / 2024. قُبِل للنشر في 20/ 10 / 2024)

□ ملخّص □

تعدّ دراسة سيناريو الغمر النّاتج عن ارتفاع مستوى سطح البحر أحد الجوانب الحيويّة في مجال العلوم البيئيّة والهندسيّة، خاصّةً مع تزايد التّغيّرات المُناخيّة وتأثيرها المُتصاعد على البيئة السّاحليّة. يهدف هذا البحث إلى التّقدير الكمّي للآثار المُترتّبة على ارتفاع مستوى سطح البحر وتطوّر سيناريوهات الفيضان المُحتملة في المنطقة السّاحليّة ضمن محافظة اللّاذقيّة في سوريّة.

يعتمد البحث على استخدام نظم المعلومات الجغرافيّة في جمع وتحليل البيانات المكانيّة ذات الصّلة، والّتي تمكّننا من رسم خرائط توضّح المناطق المُعرّضة للخطر بناءً على سيناريوهات ارتفاع مستوى سطح البحر المُتوقّعة. بالإضافة إلى استخدام النّماذج التّحليليّة لتقدير الآثار المُحتملة للفيضانات وتحديداً على الموارد المائيّة، ممّا يساعد في تطوير سياسات التّخطيط وإجراءات التّكيّف الّتي تعزّز المرونة والاستدامة في مواجهة تحدّيات تغيّر المُناخ على السّواحل. بالإضافة إلى اتّخاذ التّدابير الوقائيّة المُناسبة للحدّ من الآثار السّلبيّة المُحتملة، الّتي قد تصل إلى حد التّأثير على حياة البشر والكائنات الحيّة في المناطق المُتضرّرة.

تبيّن من تحليل ثلاث سيناريوهات لارتفاع مستوى سطح البحر بالقيم التّالية (1.00 m, 1.50 m, 8.82 m) وجود مؤشّرات خطرة لتضرّر الموارد المائيّة المجاورة لساحل محافظة اللّاذقيّة، وخصوصاً الأنهار وقنوات الرّي والسّواقي والمسيلات المائيّة، فضلاً عن الآبار والخزّانات والعيون والينابيع، حيث بلغت مساحات الغمر وفق السّيناريوهات المدروسة ($10.29\ km^2$, $13.12\ km^2$, $55.59\ km^2$) على التّرتيب للسّيناريوهات (1.0 m, 1.5 m, 8.82 m)، وشملت نتائج المحاكاة تضرّر (16.674 km) من الأنهار و(24.405 km) من قنوات الرّي، و(14.171 km) من السّواقي، و(17.972 km) من المسيلات المائيّة ضمن سيناريو الغمر الأخطر (8.82 m).

الكلمات المفتاحيّة: ارتفاع مستوى سطح البحر، سيناريو الفيضان، نظم المعلومات الجغرافيّة، تأثّر الموارد المائيّة، تغيّر المُناخ.

* أستاذ مساعد–قسم الهندسة المائية والري–كلية الهندسة المدنية–جامعة تشرين–اللاذقية–سورية. alaedeen@gmail.com

** أستاذ–قسم الهندسة المائية والري–كلية الهندسة المدنية–جامعة تشرين–اللاذقية–سورية. mounzer.hammad@gmail.com

*** طالبة ماجستير–قسم الهندسة المائية والري–كلية الهندسة المدنية–جامعة تشرين–اللاذقية–سورية. venus.ibrahim@tishreen.edu.sy

مقدّمة:

يُعدّ ارتفاع مستوى سطح البحر (Sea Level Rise) واختصاراً (SLR) واحداً من أهمّ التّأثيرات الرّئيسيّة لتغيّر المُناخ، وهو يشكّل مصدر قلق بالغ على مستوى العالم لما يشكّله من تهديدات كبيرة للمناطق السّاحليّة [1]، تتجسّد نتائج ارتفاع مستوى سطح البحر في عدّة آثار أهمّها زيادة حدوث الفيضانات والعواصف الشّديدة وزيادة تأثير المدّ البحريّ، وتغيّر في درجات الحرارة والمُناخ في المناطق السّاحليّة، ممّا يؤثّر على النّظم الإيكولوجيّة (Ecosystems) في هذه المناطق، كما تؤثّر هذه الظّاهرة بشكلٍ مباشر على ممتلكات وموارد المُجتمعات المحليّة الّتي تسكن في المناطق السّاحليّة وتؤدّي إلى فقدانها أو تضرّرها أو انخفاض قيمتها عموماً [2].

لا تحدث ظاهرة ارتفاع مستوى سطح البحر بشكلٍ مفاجئ، كما أنّ أسبابها مُتعدّدة، ولكن هناك مؤشّرات واضحة تشير إلى حدوثها على المدى الطّويل. فعلى سبيل المثال، هناك دراسات وأبحاث علميّة تشير إلى أنّ ارتفاع درجة حرارة الأرض يساهم في زيادة انصهار الأنهار الجليديّة وذوبان الجليد في القطب الشّمالي، ممّا يؤدّي إلى ارتفاع مستوى سطح البحر. لذلك، يجب اتّخاذ إجراءات للتّكيّف والوقاية من هذه التّغيّرات المُناخيّة المُتوقّعة [3]، ويبيّن الشّكل (1) أسباب تغيّر مستوى سطح البحر.

الشّكل (1) أسباب تغيّر مستوى سطح البحر

إنّ فهم وتحليل سيناريوهات فيضانات البحر يساهم في تقييم الآثار المُحتملة لارتفاع منسوب مياه البحر على المجتمعات السّاحليّة والبنية التّحتيّة، بهدف الوقاية من الكارثة قبل وقوعها، وحفظاً للموارد وصيانتها من أي ضرر، سواء كانت تلك الموارد طبيعيّة أو بشريّة [4]، إنّ دراسة آثار الغمر بجميع نواحيه هو موضوع واسع لكثرة المعاملات المُرتبطة بتحليله (اقتصاديّة، اجتماعيّة، بيئيّة وغيرها)، لذلك سينحصر البحث بدراسة التّأثير على الموارد المائيّة السّاحليّة دون أن نتطرّق إلى تأثير الغمر على المياه الجوفيّة.

تسمح نظم المعلومات الجغرافيّة (Geographic Information Systems) واختصاراً (GIS) بدمج مجموعات البيانات المكانيّة والوصفيّة المُختلفة (Spatial and Attribute Data)، بما في ذلك التّضاريس السّاحليّة (Coastal Terrain) من خلال نماذج الارتفاعات الرّقميّة (Digital Elevation Models) أو اختصاراً (DEM)، واستخدام الأراضي (Land use)، ووضع خرائط ارتفاع مستوى سطح البحر (SLR Mapping)، في إطار تحليلي واحد، بالتّالي تسمح هذه النظم برسم خرائط المناطق المعرّضة للغمر وتقدير مساحتها، حيث يُتيح هذا النّهج المُتكامل نمذجة

ومحاكاة سيناريوهات فيضانات البحر المُختلفة بدقّة عالية، وبالتّالي إمكانيّة تحديد أولويّات خطط إدارة الكوارث (Disaster Management)، وترتيب عمليّات وإجراءات حفظ الموارد السّاحليّة [4,5,6].

تمّت محاكاة ارتفاع مستوى سطح البحر في مناطق عدّة من العالم ومنها ساحل دمياط في مصر، حيث تمّ استخدام مرئيّة فضائيّة من (LANDSAT-7) ونموذج ارتفاعات رقمي من (ASTER) جنباً إلى جنب مع العديد من الطّبقات ضمن قاعدة بيانات جغرافيّة لمنطقة الدّراسة شملت الحدود الإداريّة، شبكة الطّرق والسّكّة الحديديّة، شبكات الرّي والمناطق العمرانيّة، وفق سيناريوهات الغمر m (1, 2)، كما تمّ حساب مساحات الغمر المتأثّرة حيث تبيّن وجود خطر شديد على السّاحل المدروس وأوصت الدّراسة بضرورة حماية مناطق تجمّع السّكّان من آثار الغمر الممكن حدوثه [7].

في حين ناقشت الدّراسة [8] التّقنيّات المختلفة لاستخدام نظم المعلومات الجغرافيّة في دراسة تغيّر ارتفاع مستوى سطح البحر واكتشاف تأثيرات الغمر في المناطق المُتضرّرة، حيث تبيّن أنّ اختيار سيناريوهات متعدّدة يزيد من جودة التّنبّؤ المستقبلي، وأنّ البيانات الّتي ستدخل في التّحليلات متنوّعة مثل المرئيّات الفضائيّة ونماذج الارتفاعات الرّقميّة ومنها (SRTM) المفتوح المصدر، وأشارت بشكل دقيق إلى أنّ هذا النّموذج يُعتبر ذو دقّة منخفضة عند تطبيق سيناريوهات بارتفاع (1 m) أو أقل. اقترحت الدّراسة تحسين النّموذج الارتفاعي الرّقمي مفتوح المصدر ببيانات ارتفاعيّة من (LIDAR) لتحسين دقّة تمييزه المكانيّة، وذكرت بالتّفصيل التّقنيّات والأدوات وبرمجيّات نظم المعلومات الجغرافيّة مثل (ArcGIS Pro, ArcGIS, ArcGIS Desktop, QGIS) المُستخدمة في دراسة ومحاكاة الغمر. يتبيّن من الدّراستَين السّابقتَين ضرورة التّحديد الدّقيق لفرضيّات السّيناريوهات أوّلاً، ومدى ارتباط نتائج تقدير تأثيرات الغمر بجودة النّموذج الارتفاعي المُستخدم، وعليه تُقدّم الدّراسة [9] منهجيّة علميّة متكاملة لتحسين دقّة نموذج الارتفاعات الرّقمي من (SRTM) باستخدام حقن نقاط ارتفاعيّة حقليّة ضمنه، شملت الدّراسة منطقتين إحداهما سهليّة والأخرى منطقة تلال، وقد حسّنت هذه المنهجيّة النّموذج الارتفاعي (SRTM) بنسبة (22.5%) في المنطقة السّهليّة و(47.6%) في منطقة التّلال، إنّ اعتماد هذه المنهجيّة في البحث سيحسّن حكماً من جودة نتائج تقدير الغمر ضمن منطقة الدّراسة.

أهمّيّة البحث وأهدافه:

تُعدّ محاكاة ارتفاع مستوى سطح البحر على الشّريط السّاحلي في محافظة اللّاذقيّة أمراً حيويّاً، بغية تقدير تأثيرات سيناريوهات الغمر على الموارد المائيّة السّاحليّة، حيث أنّه على الرّغم من أنّ المنطقة السّاحليّة لا تمثّل سوى (2%) من إجمالي مساحة البلاد، إلّا أنّها مأهولة بأكثر من (11%) من إجمالي السّكّان [10]. ويهدف البحث إلى ما يلي:

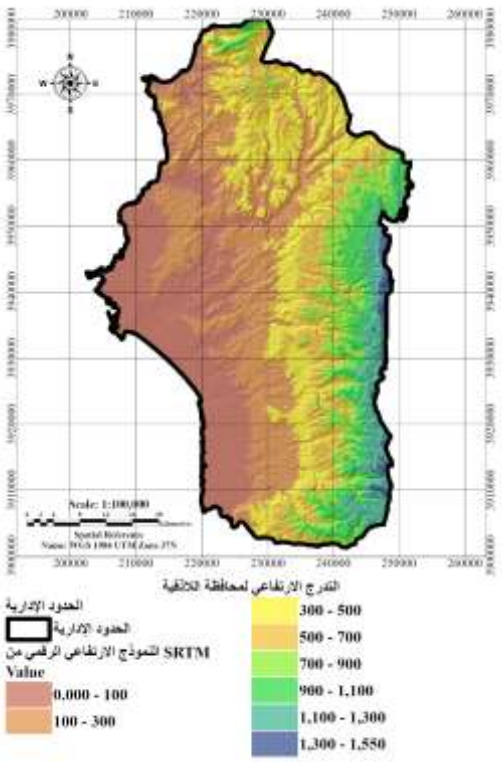
1. محاكاة سيناريوهات الغمر لساحل محافظة اللّاذقيّة على القيم (1.00m, 1.50m, 8.82m) باستخدام تحليلات نظم المعلومات الجغرافيّة (GIS).
2. تحديد مساحة المناطق الّتي ستتعرّض للغمر ضمن منطقة الدّراسة، وتحديد الموارد المائيّة السّاحليّة المتأثّرة في المنطقة بارتفاع مستوى سطح البحر وفق السّيناريوهات المذكورة.

موقع منطقة البحث:

تقع منطقة الدّراسة في ساحل محافظة اللّاذقيّة، بين خطّي العرض (^{o}35.9-^{o}35.2) شمال خطّ الاستواء، وبين خطّي الطّول (^{o}36.3-^{o}35.7) شرق خطّ غرينتش، حيث يبيّن الشّكل (2-a) الحدود الإداريّة لمحافظة اللّاذقيّة، وتحديداً من قرية السّمرا في أقصى شمال اللّاذقيّة حتى مصبّ نهر السّن جنوباً، على ساحل محافظة اللّاذقيّة، ويبيّن الشّكل (2-b)

التّدرّج الارتفاعي لمحافظة اللّاذقيّة من النّموذج (Shuttle Radar Topography Mission) أو اختصاراً SRTM من الموقع https://earthexplorer.usgs.gov/، وتتميّز المنطقة السّاحليّة لمحافظة اللّاذقيّة بتنوّع تضاريسي حيث تتدرّج ضمن المجال الارتفاعي (0-100 m) [10]، والّتي يبلغ متوسّط عرضها (8 Km) في المنطقة الممتدّة من مصبّ نهر السّن حتّى جنوب مدينة اللّاذقيّة، بينما يتراوح عرضها بين (6-16 Km) من جنوب مدينة اللّاذقيّة حتّى وادي قنديل، أمّا شمالاً من وادي قنديل حتّى قرية السّمرا فالعرض ضيّق عموماً لا يتجاوز (1 Km) على طول السّاحل ماعدا جنوب شرق منطقة البسّيط الّتي يصل عرض المنطقة فيها إلى (5 Km)، وتتمركز الأنشطة التّجاريّة والصّناعيّة والتّوزّع السّكّاني المُكثّف قرب البحر.

(a) المصدر: ©Google Earth



(b) التّدرّج الارتفاعي لمحافظة اللّاذقيّة

الشّكل (2) موقع منطقة الدّراسة في محافظة اللّاذقيّة (a) الحدود الإداريّة، (b) التّدرّج الارتفاعي

طرائق البحث وموادّه:

تتمّ محاكاة ارتفاع مستوى سطح البحر (SLR) عادةً باعتماد سيناريوهات مُعيّنة، بحصر وتحليل مجالات ارتفاعيّة مستمدّة من نموذج الارتفاعات الرّقمي لمنطقة الدّراسة، وفق اعتبارات مكانيّة وتحليليّة مُختلفة مرتبطة بتضاريس المنطقة، ممّا يساعد على تقدير مساحات المناطق المُعرّضة لخطر الغمر، وتحديد الموارد المائيّة السّاحليّة المتأثّرة، وبناءً على ذلك تمّ اختيار سيناريوهات عدّة لارتفاع مستوى سطح البحر وهي:

السّيناريو الأوّل (1.00 m): وهو يُمثّل السّيناريو الأساسي في دراستنا (حالة ارتفاع طبيعي فوق مستوى سطح البحر)، حيث تشير معظم التّوقّعات إلى أنّ ارتفاع مستوى سطح البحر المتوسّط خلال المئة سنة القادمة سيصل إلى 1.00 متر وهو السّيناريو المعتمد في العديد من دراسات محاكاة الغمر السّاحلي [11,12].

السّيناريو الثّاني (1.50 m): حيث نتج هذا السّيناريو بالاعتماد على تأثير المدّ والجزر الحاصل ضمن حوض البحر المتوسّط والّذي يُقدّر تقريباً (0.50 m) [13]، ومن ثمّ إضافته للسّيناريو الأساسي (حالة ارتفاع طبيعي فوق مستوى سطح البحر بالإضافة لتأثير المدّ والجزر).

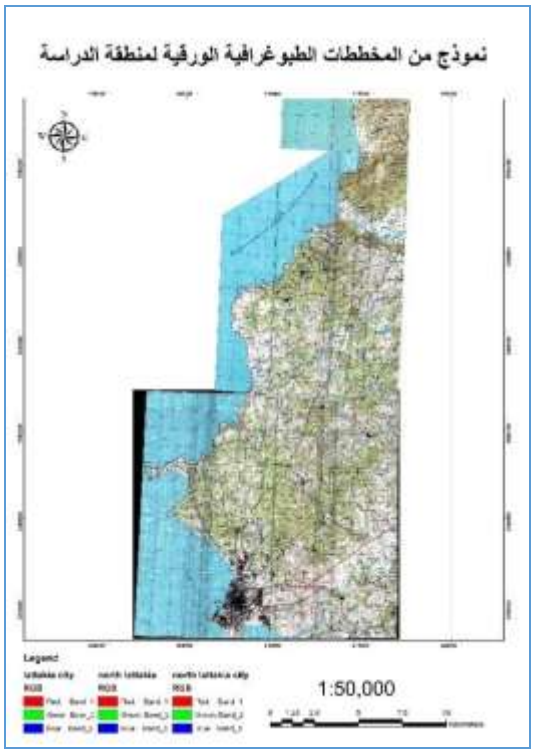
السّيناريو الثّالث (8.82 m): وهو يُمثّل السّيناريو الأساسي (1.00 m) مضافةً إليه قيمة التّسونامي المُفترض حدوثها على السّاحل السّوري تبعاً لمعايير مُحدّدة حيث تبلغ قيمتها (7.82 m) [14].

تضمّنت الدّراسة عدّة مراحل أوّلها بناء النّموذج الارتفاعي الرّقميّ لساحل محافظة اللّاذقيّة حيث تعتمد دقّة تقدير تأثيرات الغمر على دقّة نموذج الارتفاعات الرّقمي المُستخدم، ولتحقيق أعلى دقّة ممكنة في الدّراسة تمّ الاعتماد بالدّرجة الأولى على الخرائط الطّبوغرافيّة الورقيّة ذات المقياس (1:25000) كما هو مُبيّن في الشّكل (3-a) وبعض الخرائط الطّبوغرافيّة الرّقميّة وهي لا تحتوي على سمات موارد مائيّة ولكنّها تحتوي فقط على نقاط ارتفاعيّة ناتجة عن الرّفع الطّبوغرافي كما هو مُوضّح في الشّكل (3-b)، والّتي حصلنا عليها من مديريّة الخدمات الفنيّة في محافظة اللّاذقيّة وهي تغطّي بحدود ($775\ Km^2$) من ساحل محافظة اللّاذقيّة، حيث تمّت رقمنة خطوط التّسوية ضمن المجال (0-10 m) لتحسين النّموذج الارتفاعي الرّقمي (SRTM) كما في الشّكل (3-c) والّذي تمّ الحصول عليه من موقع هيئة البحث الجيولوجيّة الأميركيّة (United States Geological Survey) أو اختصاراً (USGS) والّذي تبلغ دقّة التّمييز المكانيّة له (1) ثانية قوسيّة (1 arcsec) وهي تقريباً (30 m). إنّ طريقة تحسين النّموذج الارتفاعي المُتّبعة في البحث تعتمد على حقن البيانات الارتفاعيّة المُستمدّة من الخرائط الطّبوغرافيّة الورقيّة والرّقميّة ضمن نموذج (SRTM) وهو الأمر الّذي أشارت إليه الدّراسة [9]. بالنّسبة لتقييم دقّة النّموذج الارتفاعي النّهائي فقد تمّ اختيار (100) نقطة ضبط معلومة الارتفاع ضمن المجال الارتفاعي (0-100 m) ثمّ حساب الخطأ المتوسّط التّربيع لفروقات الارتفاعات وفق العلاقة:

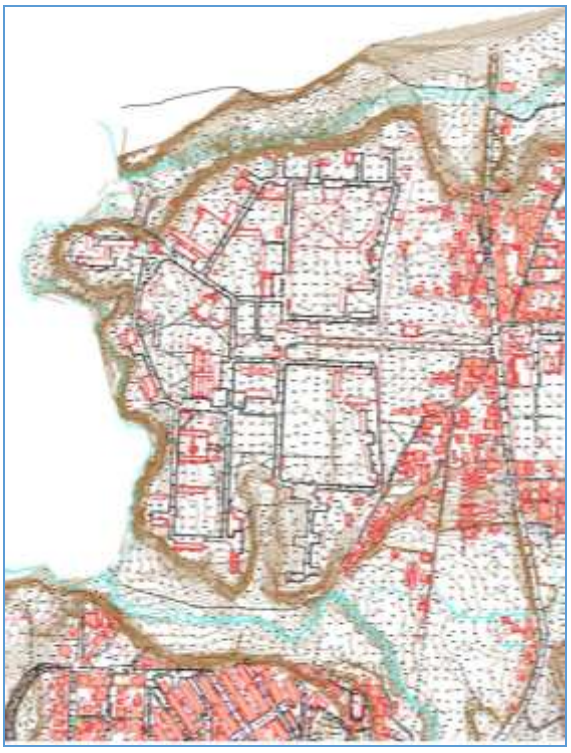
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n}(Z_{reference(i)} - Z_{DEM(i)})^2}{n}}$$

حيث: $Z_{reference(i)}$ الارتفاع المرجعي لنقطة الاختبار (i)، $Z_{DEM(i)}$ ارتفاع النّقطة (i) المُقتطع من نموذج الارتفاعات الرّقمي، n عدد نقاط الاختبار. بلغت قيمة الخطأ المتوسّط التّربيع (RMSE=1.88 m) وهي تُمثّل دقّة نموذج الارتفاعات الرّقمي الجديد [15].

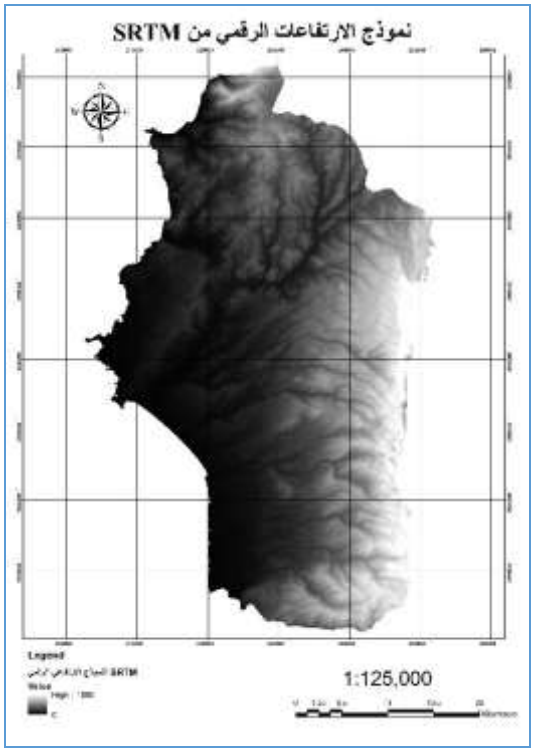
تمّ إنشاء النّموذج الارتفاعي الرّقمي الجديد بدمج البيانات الارتفاعيّة من جميع المصادر المتوفّرة المذكورة أعلاه، وذلك باستخدام أدوات التّحليل الجغرافي (Geoprocessing tools) ضمن برنامج (ArcGIS Pro 3.3©)، وتحديداً استخدام الأدوات (Topo To Raster, Raster Calculator, Extract by mask, Georeferencing, Project Raster, Mosaic (Data Management))، وبلغت دقّة التّمييز المكانيّة للنّموذج الرّقمي الارتفاعي النّهائي (10 m)، والموضّح في الشّكل (3-d) أدناه، وهو الأساس الارتفاعي المُعتمد والمُدخل الرّئيسي (Input) في إعادة التّصنيف اللّاحق ضمن عمليّة محاكاة سيناريوهات الغمر الّتي تمّت باستخدام الأداة (Reclassify). علماً أنّ نظام الإحداثيّات الموحّد لقاعدة البيانات الجغرافيّة ونموذج الارتفاعات الرّقمي الجديد هو (UTM Zone 37N).



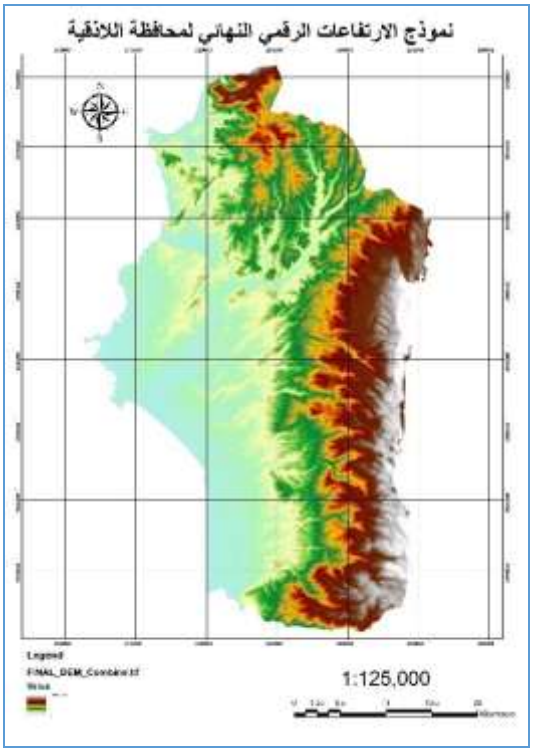
(a) المُخطّطات الطّبوغرافيّة الورقيّة



(b) المُخطّطات الطّبوغرافيّة الرّقميّة



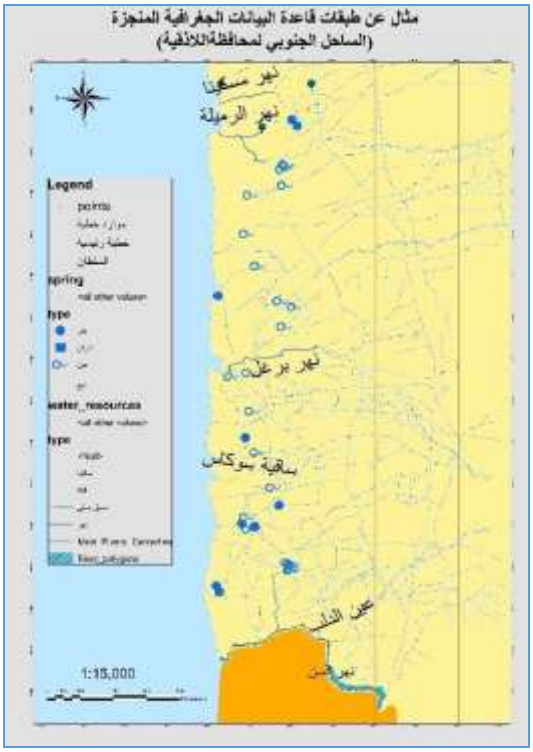
(c) النّموذج الارتفاعي الرّقمي SRTM



(d) نموذج الارتفاعات الرّقمي النّهائي

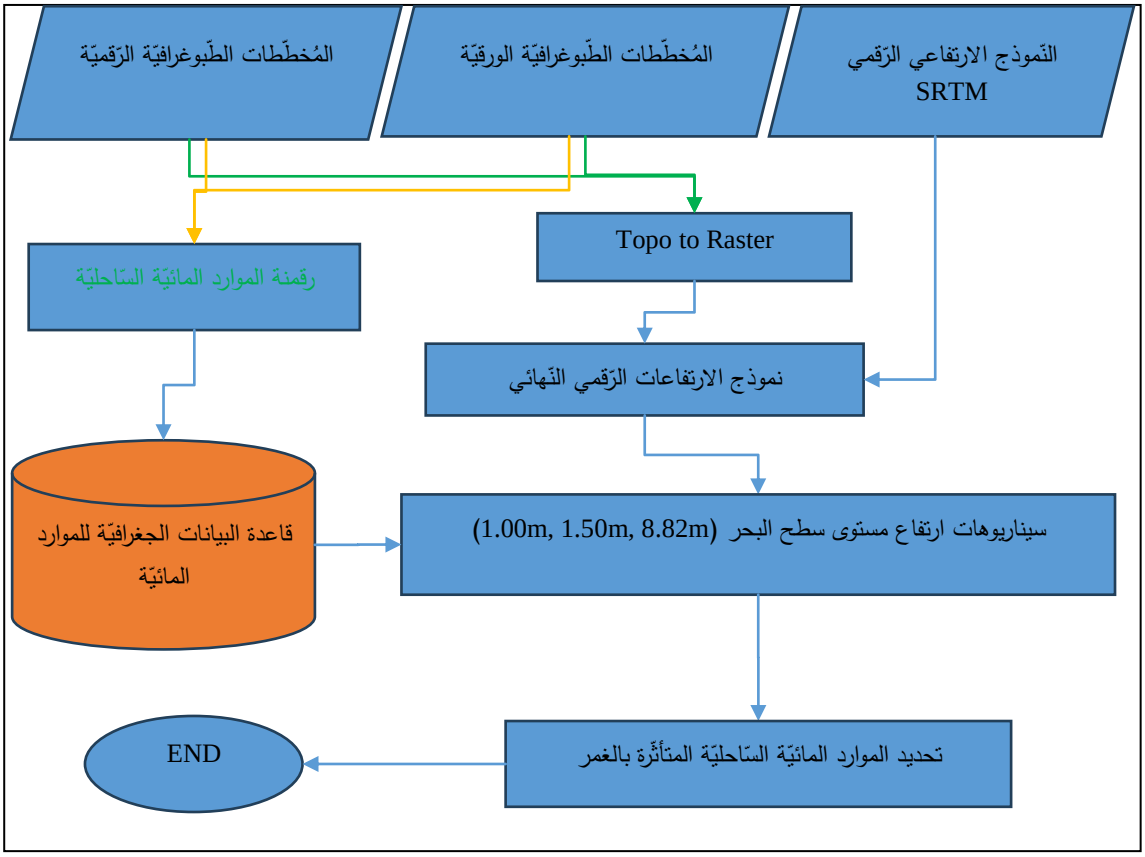
الشّكل (3) البيانات المُستخدمة في البحث

كما تضمّنت الدّراسة مرحلة بناء قاعدة البيانات الجغرافيّة للموارد المائيّة السّاحليّة في منطقة الدّراسة حيث تتضمّن الموارد المائيّة السّاحليّة عناصر ذات سمات جغرافيّة نقطيّة (Point features) وهي: (الينابيع، الآبار، العيون والخزّانات) والّتي بلغ العدد لكل منها (9, 412, 28, 3) على التّرتيب، وعناصر ذات سمات جغرافيّة خطيّة (Line features) وهي: (الأنهار، قنوات الرّي، المسيلات المائيّة والسّواقي) والّتي بلغ عددها (32, 482, 659, 56) على التّوالي، لقد تمّت رقمنة جميع العناصر السّابقة من المُخطّطات الطّبوغرافيّة باستخدام (ArcGIS Pro 3.3©)، ويبيّن الشّكل (4) مثالاً لطبقات قاعدة البيانات الجغرافيّة المُنجزة في البحث للسّاحل الجنوبي لمدينة اللّاذقيّة.



الشّكل (4) مثال عن طبقات قاعدة البيانات الجغرافيّة

تحقيقاً لأهداف الدّراسة تمّ اعتماد المنهجيّة المُوضّحة بالشّكل (5):



الشّكل (5) منهجيّة البحث

النّتائج والمُناقشة:

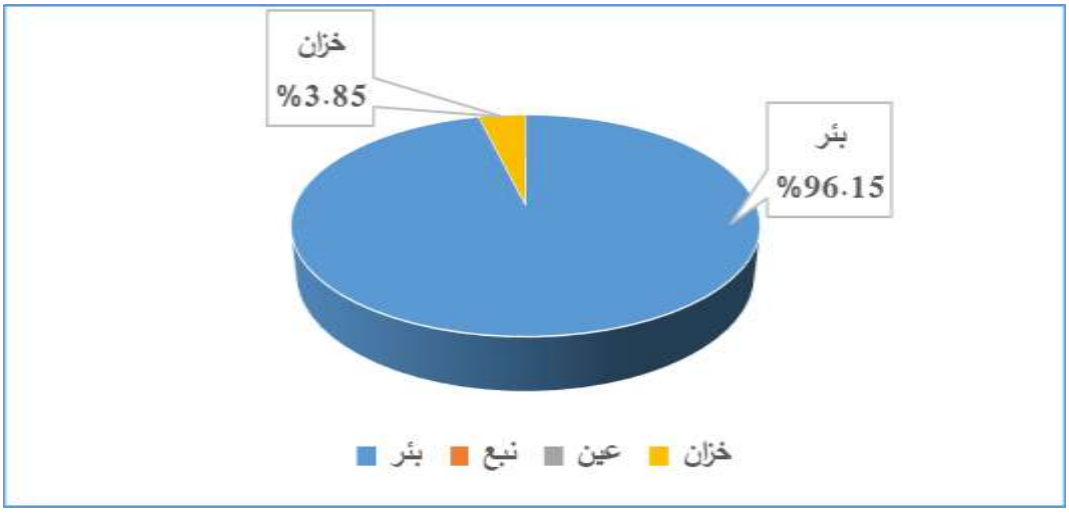
أُجريَت التّحليلات اللّازمة وفقاً للسّيناريوهات المذكورة فكانت النّتائج على النّحو التّالي:

- **سيناريو الغمر 1.00 متر:**

بلغت المساحة المغمورة وفق هذا السّيناريو ($10.29\ km^2$)، ويبيّن الجدول (1) الموارد المائيّة النّقطيّة (الآبار، الينابيع، العيون والخزّانات) المتأثّرة، حيث اقتصرت الأضرار وفق هذا السّيناريو على بعض الآبار والخزّانات في المنطقة، ويعود العدد المتأثّر الأكبر للآبار، وتمّ تمثيل النّسب المئويّة لهذه الموارد بيانيّاً كما هو مُوضّح في الشّكل (6).

الجدول (1) الموارد المائيّة النّقطيّة المتأثّرة بسيناريو الغمر (1.00 m)

نوع المورد المائي	العدد المتأثر بفيضان (1.00 m)	النسبة المئوية (%)
بئر	50	**96.15**
نبع	0	**0.00**
عين	0	**0.00**
خزان	2	**3.85**



الشّكل (6) مخطّط توزّع النّسب المئويّة للموارد المائيّة النّقطيّة المتأثّرة بسيناريو الغمر (1.00 m)

يُظهر الشّكل (6) النّسب المئويّة المتأثّرة من الموارد المائيّة النّقطيّة حيث أنّ النّسبة الأكبر بهذا السّيناريو تعود للآبار.

يبيّن الجدول (2) الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة بسيناريو الغمر (1.00 m)، أنتجت المحاكاة أنّ أكثر الموارد الخطّيّة المتأثّرة طولاً هي الأنهار والمسيلات المائيّة حيث (1.395 km) من الأنهار سيتمّ غمره وفق السّيناريو المدروس، في حين أنّ (1.888 km) من المسيلات المائيّة سيتأثّر بالغمر نتيجة هذا السّيناريو، علماً أنّ عدد الأنهار المتأثّرة 13 نهر وعدد المسيلات المائيّة المتأثّرة 84 مسيل مائي.

الجدول (2) الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة بسيناريو الغمر (1.00 m)

نوع المورد المائي	الطّول المتأثّر بالكيلومتر ضمن فيضان (1.00 m)	العدد
نهر	1.395	13
ساقية	0.921	17

مسيل مائي	1.888	84
قناة ري	0.790	13

وتمّ تمثيل الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة بسيناريو الغمر (1.00 m) بيانيّاً كما هو مُوضّح في الشّكل (7).

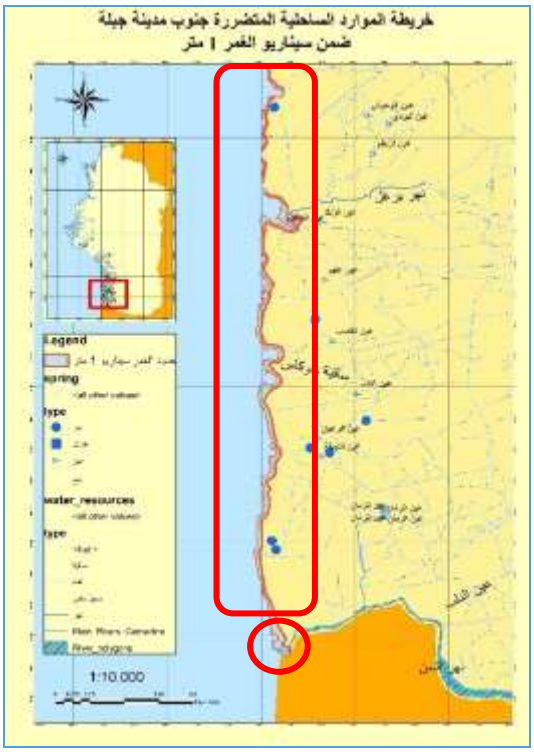
(b) مخطّط الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة من حيث الطّول

(a) مخطّط الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة من حيث العدد

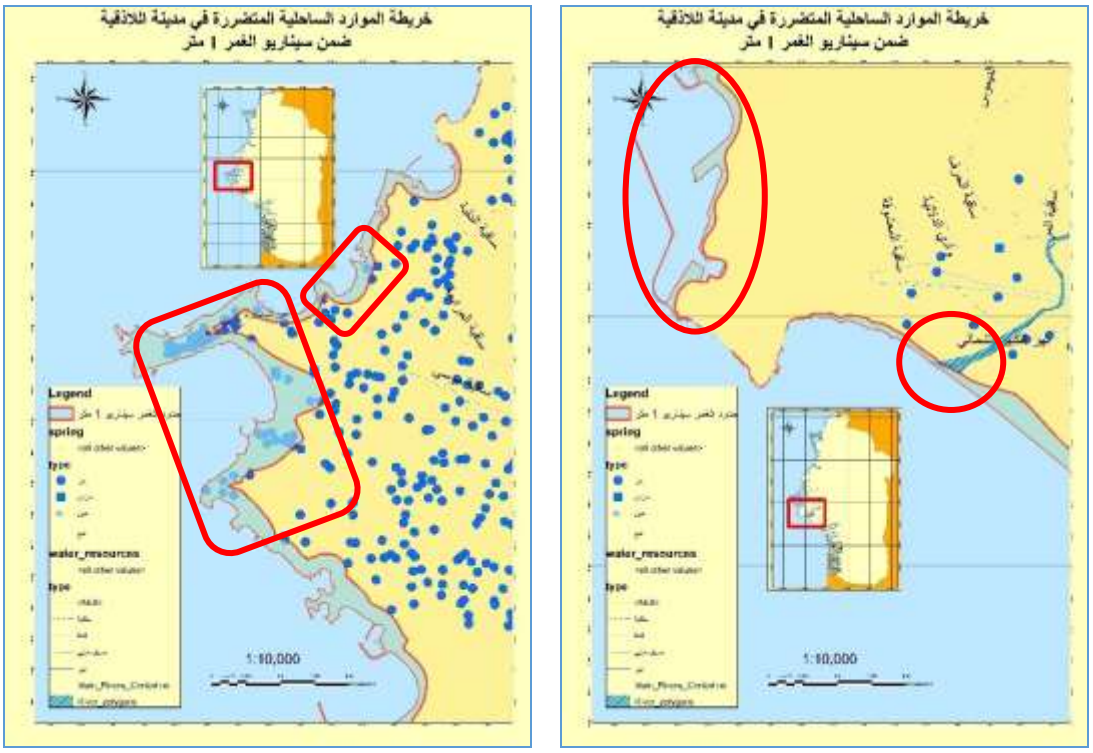
الشّكل (7) مخطّط الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة بسيناريو الغمر (1.00 m)

يعزّى تأثّر المسيلات المائيّة من حيث العدد والطّول بشكل أكبر من بقيّة الموارد المائيّة الخطّيّة بالغمر إلى طبيعة تضاريس المنطقة في القسم الشّمالي من مدينة اللّاذقيّة وخصوصاً في المنطقة المُمتدّة من وادي قنديل إلى كسب.

توضّح خرائط الغمر لسيناريو (1.00 m) التّوزّع المكاني للموارد المائيّة المُتضرّرة حيث يبيّن الشّكل (8-a) تأثير الغمر على خط الشّاطئ جنوب مدينة جبلة، الّذي يمتد بشكل شريطي على كامل السّاحل، مع ازدياد هذا التّأثير بالقرب من مصبّ نهر السّن، ويتكرّر نمط هذا التّأثير جنوب مدينة اللّاذقيّة حيث يزداد تأثير الغمر في منطقة مصبّ نهر الكبير الشّمالي، الشّكل (8-b)، في حين يبيّن الشّكل (8-c) التّوزّع الكثيف للآبار في منطقة مروج دمسرخو شمال مدينة اللّاذقيّة وتضرّر جزء منها.



(a) جنوب مدينة جبلة



(b) جنوب مدينة اللّاذقيّة (c) شمال مدينة اللّاذقيّة

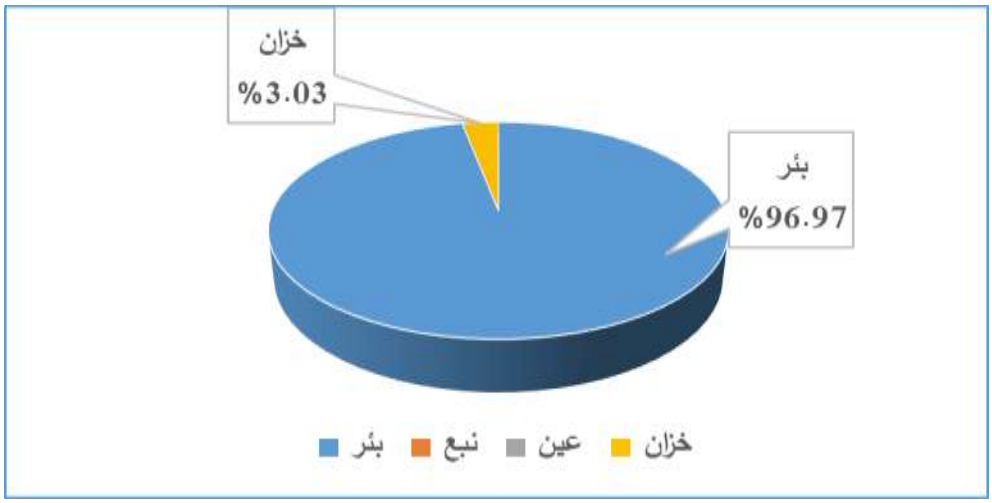
الشّكل (8) التّوزّع المكاني للموارد المائيّة المُتضرّرة بسيناريو الغمر (1.00 m)

- **سيناريو 1.50 متر:**

بلغت المساحة المغمورة وفق هذا السّيناريو ($13.12\ km^2$)، ويبيّن الجدول (3) الموارد المائيّة النّقطيّة المتأثّرة بسيناريو الغمر (1.50 m)، وبنتيجة مماثلة لسيناريو الغمر (1.00 m) كانت الآبار هي المورد الأكثر تأثّراً من حيث العدد تليها الخزّانات في المنطقة وتمّ تمثيل النّسب المئويّة لهذه الموارد بيانيّاً كما هو مُوضّح في الشّكل (9).

الجدول (3) الموارد المائيّة النّقطيّة المتأثّرة بسيناريو الغمر (1.50 m)

نوع المورد المائي	العدد المتأثّر بفيضان (1.50 m)	النّسبة المئويّة (%)
بئر	64	**96.97**
نبع	0	**0.00**
عين	0	**0.00**
خزان	2	**3.03**



الشّكل (9) مخطّط توزّع النّسب المئويّة للموارد المائيّة النّقطيّة المتأثّرة بسيناريو الغمر (1.50 m)

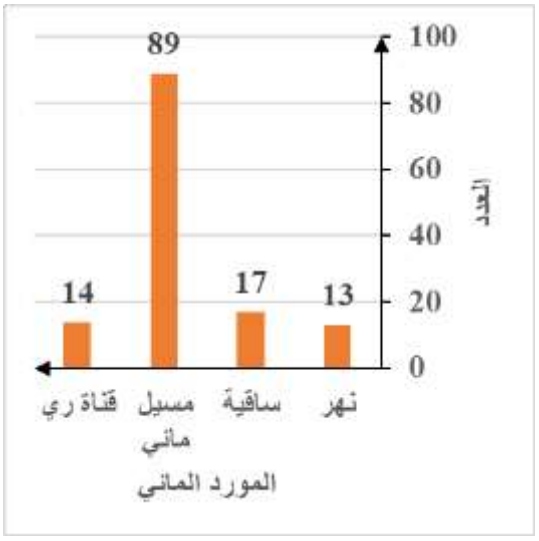
يظهر من الشّكل (9) أنّ النّسبة الأكبر من الموارد المائيّة النّقطيّة المتأثّرة بهذا السّيناريو تعود للآبار أيضاً (كما في حالة السّيناريو 1.00 m).

يبيّن الجدول (4) الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة بسيناريو الغمر (1.50 m) حيث أنتجت المحاكاة أنّ (1.818 km) من الأنهار سيتمّ غمره وفق السّيناريو المدروس بنسبة زيادة (30%) عن سيناريو (1.00 m)، في حين أنّ (2.623 km) من المسيلات المائيّة ستتغمر نتيجة هذا السّيناريو بنسبة زيادة (39%) عن السّيناريو السّابق، وبذلك تكون الأنهار والمسيلات المائيّة هي الموارد الخطّيّة الأكثر تأثّراً من حيث الطّول (كما في نتائج السّيناريو 1.00 m) علماً أنّ عدد الأنهار المتأثّرة 13 نهر وعدد المسيلات المائيّة المتأثّرة 89 مسيل مائي.

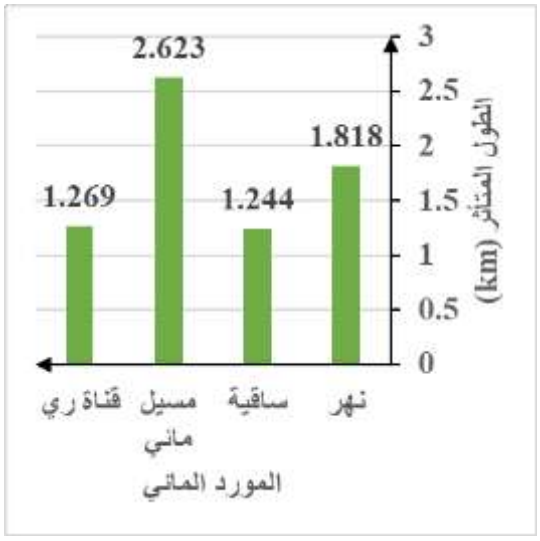
الجدول (4) الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة بسيناريو الغمر (1.50 m)

نوع المورد المائي	الطّول المتأثّر بالكيلومتر ضمن فيضان (1.50 m)	العدد
نهر	1.818	13
ساقية	1.244	17
مسيل مائي	2.623	89
قناة ري	1.269	14

وتمّ تمثيل الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة بسيناريو الغمر (1.50 m) بيانيّاً كما هو مُوضّح في الشّكل (10).



(a) مخطّط الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة من حيث العدد



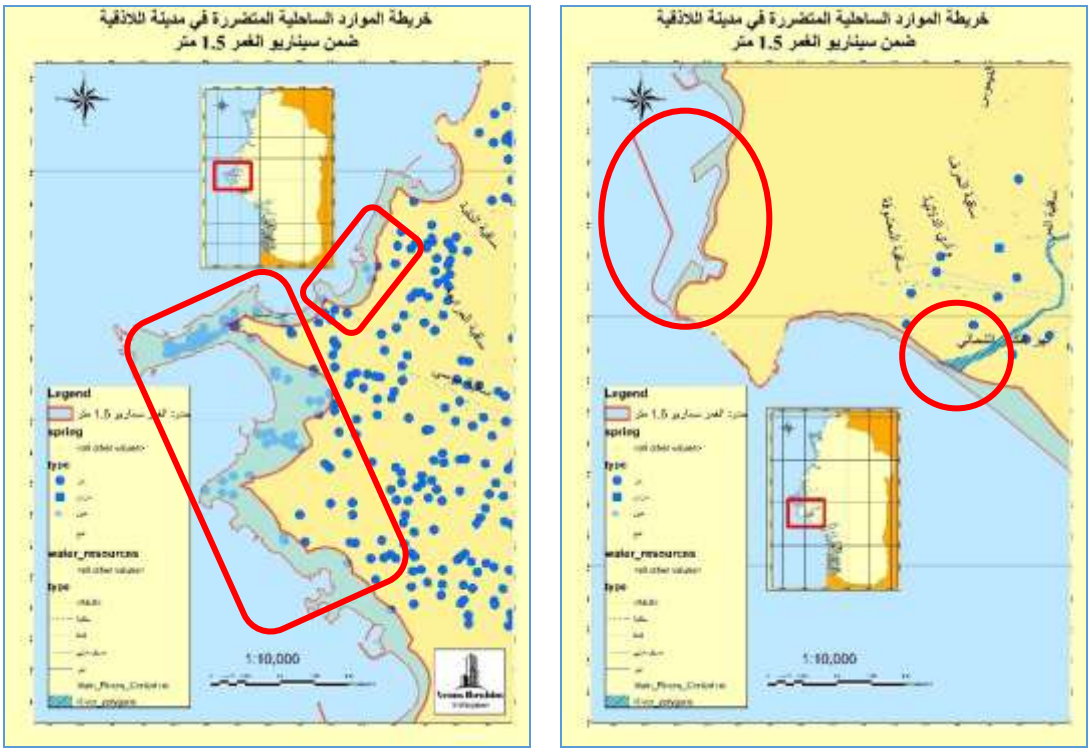
(b) مخطّط الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة من حيث الطّول

الشّكل (10) مخطّط الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة بسيناريو الغمر (1.50 m)

كما في السّيناريو السّابق نلاحظ أنّ المسيلات المائيّة كانت لها القيم الأعلى في التّحليل كعدد وكطول أيضاً.

وبشكل مماثل لسيناريو الغمر (1.00 m) نلاحظ من الشّكل (11-a) توسّع المساحة المغمورة جنوب مدينة جبلة بشكلٍ موازٍ لخطّ السّاحل على طول الجزء المدروس وخصوصاً مصبّ نهر السّن، ونلاحظ من الشّكل (11-b,c) زيادة الجزء المُتضرّر من مصبّ نهر الكبير الشّمالي ومرفأ اللّاذقيّة وزيادة عدد الآبار المُتضرّرة شمال مدينة اللّاذقيّة.

(a) جنوب مدينة جبلة



(b) جنوب مدينة اللّاذقيّة (c) شمال مدينة اللّاذقيّة

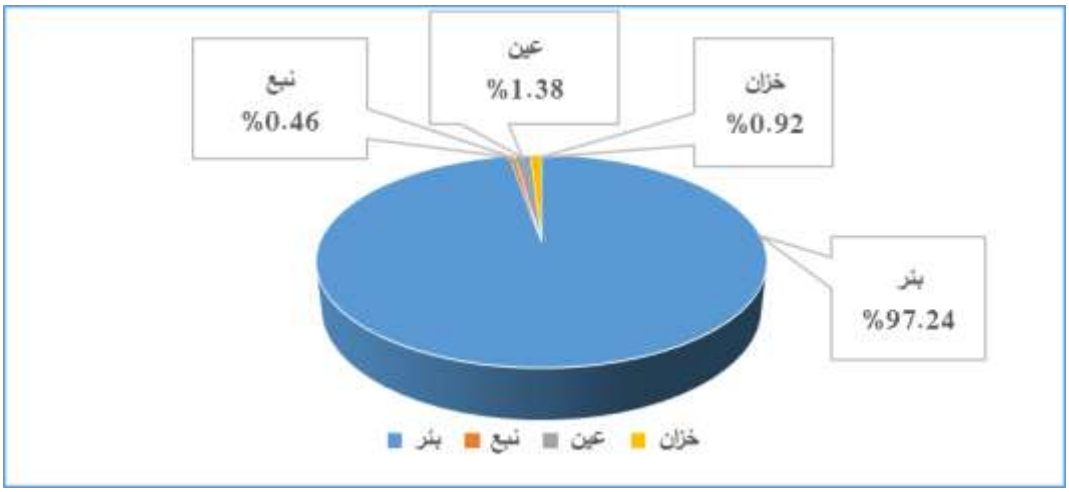
الشّكل (11) التّوزّع المكاني للموارد المائيّة المُتضرّرة بسيناريو الغمر (1.50 m)

- **سيناريو 8.82 متر:**

بلغت المساحة المغمورة وفق هذا السّيناريو ($55.59\ km^2$)، ويبيّن الجدول (5) الموارد المائيّة النّقطيّة المتأثّرة، حيث تأثّرت الموارد المائيّة بأنواعها كافّة، وكانت نسبة الزّيادة بالنّسبة للآبار هي (322%) عن سيناريو (1.00 m) وهي زيادة يجب أخذها بعين الاعتبار نظراً لأهمّيّة الآبار الوظيفيّة وارتباطها بالمياه الجوفيّة، وهي تمثّل المورد النّقطي الأكثر تأثّراً من حيث العدد (كما في حالة السّيناريوهات 1.00 m, 1.50 m) وتمّ تمثيل النّسب المئويّة لهذه الموارد بيانيّاً كما هو مُوضّح في الشّكل (12).

الجدول (5) الموارد المائيّة النّقطيّة المتأثّرة بسيناريو الغمر (8.82 m)

نوع المورد المائي	العدد المتأثّر بفيضان (8.82 m)	النّسبة المئويّة (%)
بئر	211	**97.24**
نبع	1	**0.46**
عين	3	**1.38**
خزان	2	**0.92**



الشّكل (12) مخطّط توزّع النّسب المئويّة للموارد المائيّة النّقطيّة المتأثّرة بسيناريو الغمر (8.82 m)

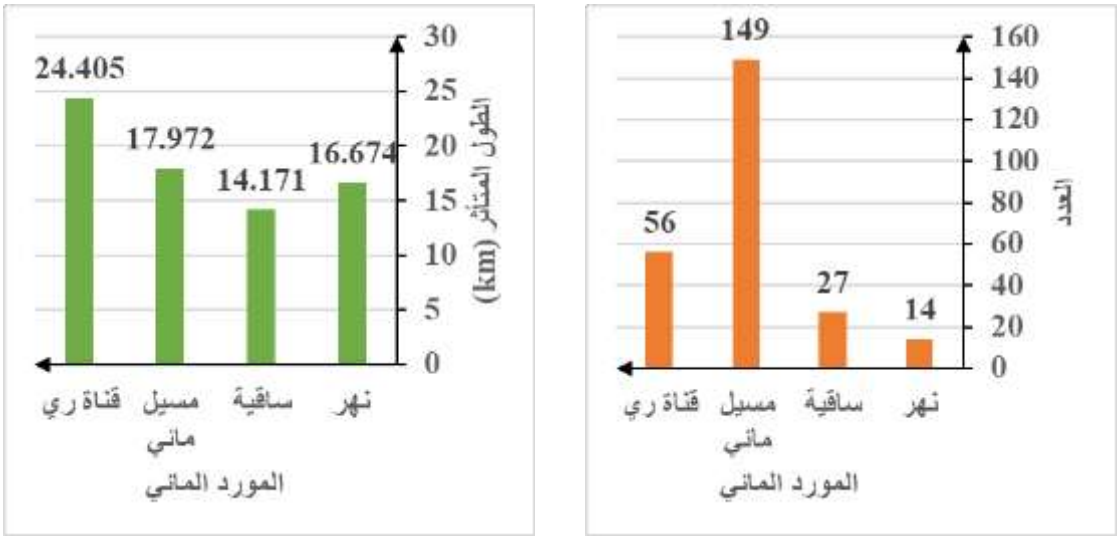
يظهر من الشّكل (12) أنّ النّسبة الأكبر من الموارد المائيّة النّقطيّة المتأثّرة بهذا السّيناريو تعود للآبار أيضاً (كما في حالة السّيناريوهات 1.00 m و1.50 m).

يبيّن الجدول (6) الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة بسيناريو الغمر (8.82 m) حيث أنتجت المحاكاة أنّ (16.674 km) من الأنهار سيتمّ غمره على السّيناريو المدروس بمقدار زيادة 16 ضعف تقريباً عن سيناريو (1.00 m)، كما أنّ (24.405 km) من قنوات الرّي سيتمّ غمرها بمقدار زيادة 30 ضعف تقريباً عن السّيناريو السّابق، في حين أنّ (14.171 km) من السّواقي سيتمّ غمره بمقدار زيادة 14 ضعف تقريباً عن نفس السّيناريو، وأخيراً إنّ (17.972 km) من المسيلات المائيّة ستنغمر نتيجة هذا السّيناريو بمقدار زيادة 9 أضعاف تقريباً، علماً أنّ عدد الأنهار المتأثّرة 14 نهر، عدد قنوات الرّي المتأثّرة 56 قناة، عدد السّواقي المتأثّرة 27 ساقية وعدد المسيلات المائيّة المتأثّرة 149 مسيل مائي.

الجدول (6) الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة بسيناريو الغمر (8.82 m)

نوع المورد المائي	الطّول المتأثّر بالكيلومتر ضمن فيضان (8.82 m)	العدد
نهر	16.674	14
ساقية	14.171	27
مسيل مائي	17.972	149
قناة ري	24.405	56

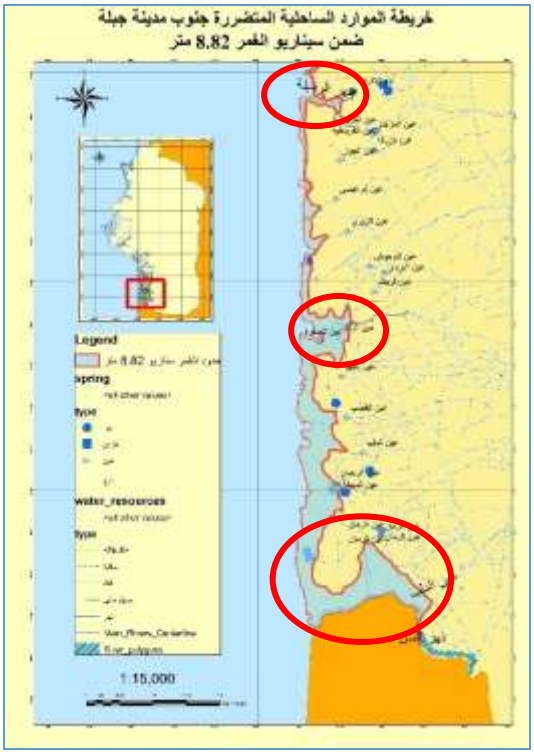
وتمّ تمثيل الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة بسيناريو الغمر (8.82 m) بيانيّاً كما هو مُوضّح في الشّكل (13).



(a) مخطّط الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة من حيث العدد **(b) مخطّط الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة من حيث الطّول**

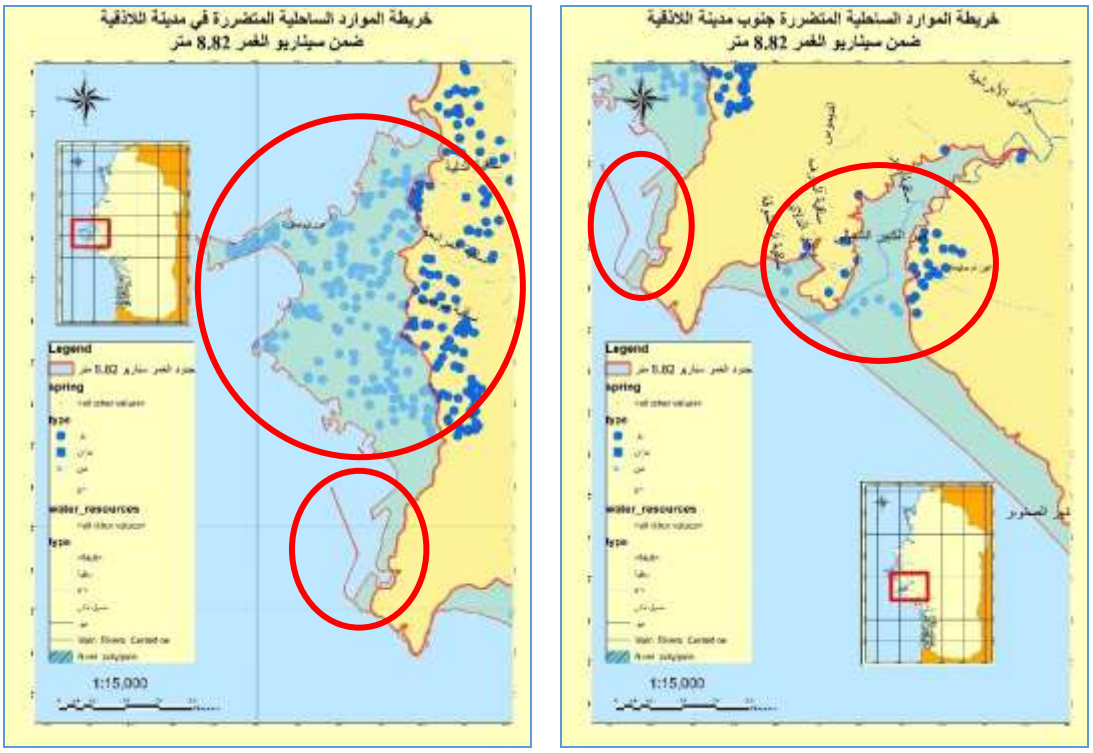
الشّكل (13) مخطّط الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة بسيناريو الغمر (8.82 m)

نلاحظ من المخطّط البياني السّابق أنّ قنوات الرّي كانت المورد الأكثر تضرّراً من جملة الموارد المائيّة المتأثّرة، وبطول قدره (24.405 km) وهو رقم يجب أخذه بعين الاعتبار نظراً لأهمّيّتها في تلبية الاحتياجات الزّراعيّة.



(a) جنوب مدينة جبلة

بالنّسبة لسيناريو الغمر (8.82 m) نلاحظ التّضرّر الكبير للموارد المائيّة على امتداد منطقة الدّراسة، حيث يبيّن الشّكل (14-a) التّضرّر الملحوظ لنهر السّن وكذلك تضرّر نهرَي برغل والرّميلة، بينما يوضّح الشّكل (14-b) زيادة تضرّر نهر الكبير الشّمالي ومرفأ مدينة اللّاذقيّة بشكل كبير، وبالمُقابل نلاحظ أيضاً من الشّكل (14-c) الزّيادة الكبيرة في عدد الآبار المُتضرّرة شمال مدينة اللّاذقيّة ممّا يستوجب أخذ هذه الأضرار بعين الاعتبار.



(b) جنوب مدينة اللّاذقيّة (c) شمال مدينة اللّاذقيّة

الشّكل (14) التّوزّع المكاني للموارد المائيّة المُتضرّرة بسيناريو الغمر (8.82 m)

تمّ حصر الموارد المائيّة المتأثّرة وفرزها تبعاً لكلّ سيناريو من سيناريوهات الغمر الثّلاث كما هو مُوضّح في الجدول (7) حيث نلاحظ الزّيادة الطّرديّة لعدد الموارد المائيّة النقطيّة المتضرّرة وخصوصاً الآبار (العنصر الأكثر تضرّراً من الموارد المائيّة النقطيّة) مع ازدياد ارتفاع سيناريو الغمر، ويمكن تفسير ذلك بنمط التّوزّع المكاني للآبار الّذي يتركّز شمال مدينة اللّاذقية ضمن المحافظة نظراً لحاجة المنطقة للمياه، والّذي يتميّز بمناسيب منخفضة عن سطح البحر.

الجدول (7) المقارنة الإجماليّة الموارد المائيّة النّقطيّة المتأثّرة وفقاً لسيناريوهات الغمر المدروسة

نوع المورد المائي	سيناريوهات الغمر		
	1.00 m	1.50 m	8.82 m
	العدد		
بئر	50	64	211
نبع	0	0	1
عين	0	0	3
خزان	2	2	2

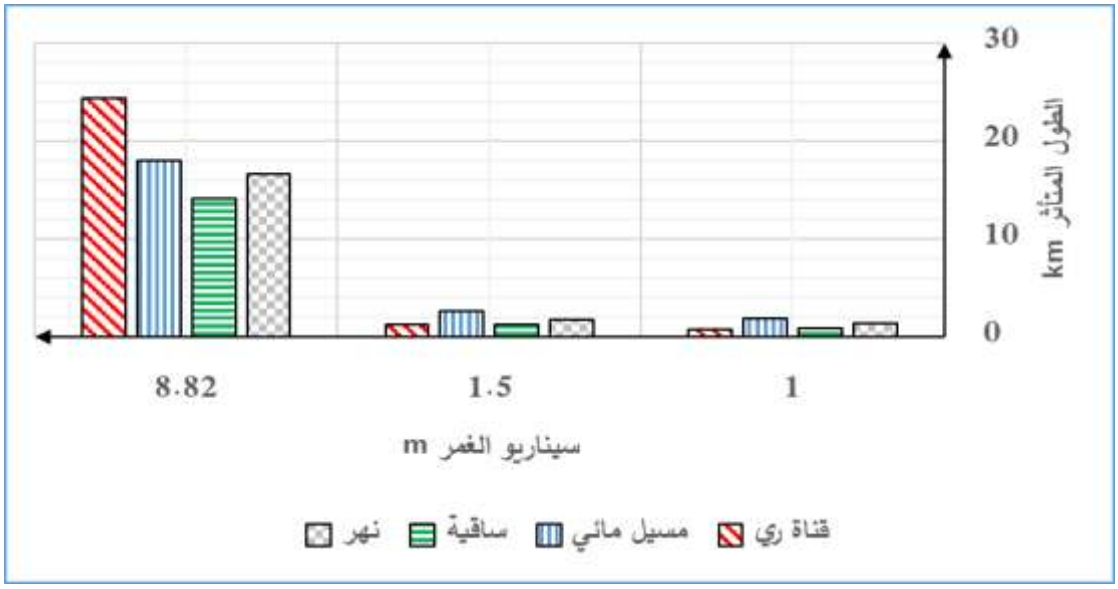
يعبّر الجدول (8) عن المقارنة بين الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة وفقاً لكلّ سيناريو غمر مدروس، حيث يتبيّن أنّه مع زيادة سيناريو الغمر من (1.00 m) إلى (1.50 m) كانت زيادة التّضرّر بالنّسب (60%, 39%, 35%, 30%) للموارد (قنوات الرّي، المسيلات المائيّة، السّواقي، الأنهار) على التّرتيب، وتجدر الملاحظة أنّه على الرّغم من زيادة السّيناريو الثّاني عن السّيناريو الأوّل بنصف متر فقط فإنّ الزّيادة بمقدار (60%) في قنوات الرّي المتضرّرة يعود إلى انتشارها الكثيف لخدمة الأراضي الزّراعيّة في المناطق السّهليّة جنوب محافظة اللّاذقيّة كما هو موضّح في الشّكل (4)،

أمّا مقدار زيادة التّضرر في السّيناريو (8.82 m) فهي (19) ضعفاً في قنوات الرّي، (7) أضعاف في المسيلات المائيّة، (11) ضعفاً في السّواقي و(9) أضعاف في الأنهار عن أطوالها المتأثّرة في السّيناريو (1.50 m).

الجدول (8) المقارنة الإجماليّة الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة وفقاً لسيناريوهات الغمر المدروسة

نوع المورد المائي	سيناريوهات الغمر		
	1.00 m	1.50 m	8.82 m
	الطّول المتأثّر (km)		
نهر	1.395	1.818	16.674
ساقية	0.921	1.244	14.171
مسيل مائي	1.888	2.623	17.972
قناة ري	0.790	1.269	24.405

ويبيّن الشّكل (15) مقارنة الطّول المتأثّر بالكيلومتر من الموارد المائيّة الخطّيّة ضمن سيناريوهات الغمر المدروسة لساحل محافظة اللّاذقيّة، حيث أظهرت المقارنة تقارب السّيناريوهات (1.00 m) و(1.50 m) بمتوسّط زيادة (39%) بينما يظهر من المخطّط نفسه الزّيادة الكبيرة للأطوال المتأثّرة بالسيناريو (8.82 m) والّتي تمّ ذكر قيمها في التّحليلات أعلاه أي بمعدّل (10.5) أضعاف تقريباً.



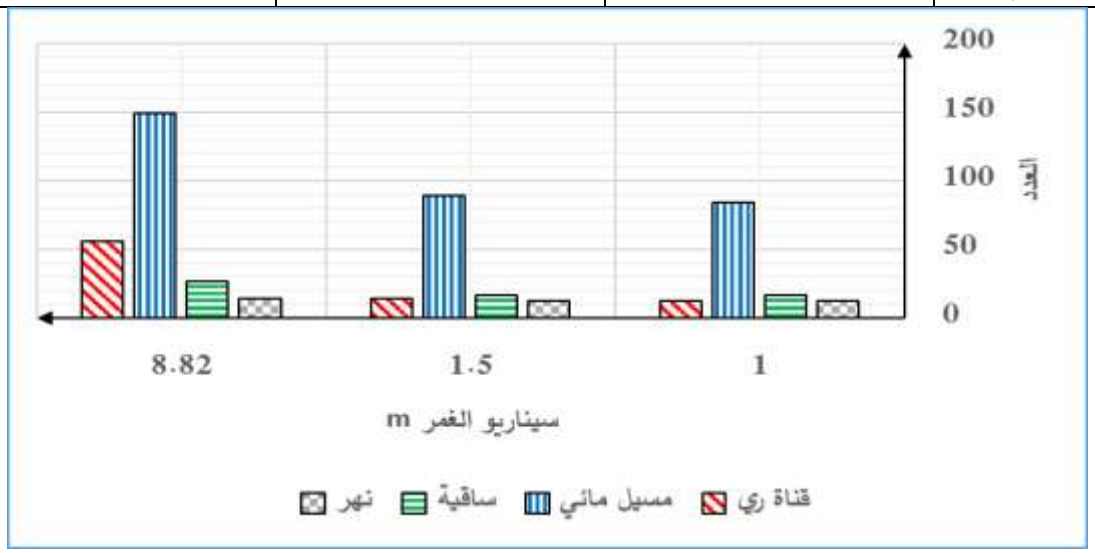
الشّكل (15) المقارنة الإجماليّة بين الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة وفقاً لكلّ سيناريو غمر مدروس

يبيّن الجدول (9) والشّكل (16) المقارنة الإجماليّة بين الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة من حيث العدد وفقاً لسيناريوهات الغمر المدروسة، حيث نلاحظ أنّ نسب الزّيادة في عدد الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة بين السّيناريوهات الحدّيّة (1.00 m) و(8.82 m) هي (7%, 58%, 77%, 330%) على قنوات الرّي والمسيلات المائيّة والسّواقي والأنهار على التّوالي.

الجدول (9) المقارنة الإجماليّة الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة من حيث العدد وفقاً لسيناريوهات الغمر المدروسة

نوع المورد المائي	سيناريوهات الغمر		
	1.00 m	1.50 m	8.82 m
	العدد المتأثّر		
نهر	13	13	14

ساقية	17	17	27
مسيل مائي	84	89	149
قناة ري	13	14	56



الشّكل (16) المقارنة الإجماليّة بين الموارد المائيّة الخطّيّة المتأثّرة من حيث العدد وفقاً لكلّ سيناريو غمر مدروس

الاستنتاجات والتّوصيات:

1. تتوضّع الموارد المائيّة في محافظة اللّاذقيّة قريباً من خط الساحل نتيجة التّكوين التّضاريسي السّهلي فيها، وانتشار التّوزع الحضري الأكثر كثافة ضمنها، وقد أعطت نتائج محاكاة سيناريوهات الغمر مؤشّرات تضرّر خطرة حتّى في سيناريوهات الغمر المنخفضة (1.00 m – 1.50 m)، فضلاً عن سيناريو الغمر الأخطر (8.82 m)، حيث بلغت مساحات المناطق المغمورة وفق السّيناريوهات المدروسة ($10.29\ km^2$, $13.12km^2$, $55.59km^2$) على التّرتيب للسّيناريوهات (1.00 m, 1.50 m, 8.82 m).
2. ضمن سيناريو الغمر الأخطر (8.82 m) تبيّن تضرّر (16.674 km) من الأنهار، و(24.405 km) من قنوات الرّي، و(14.171 km) من السّواقي، و(17.972 km) من المسيلات المائيّة في محافظة اللّاذقيّة، وهي تعطي مؤشّراً خطراً على حجم الأضرار الّتي يمكن أن تحصل في الموارد المائيّة السّاحليّة.
3. يقدّر تضرّر عدد كبير من الآبار ضمن محافظة اللّاذقيّة نتيجة تحليل سيناريوهات الغمر الثلاثة، حيث كان العدد (50) بئر في سيناريو الغمر (1.00 m) ليزداد العدد إلى (64) بئراً في سيناريو الغمر (1.50 m) وصولاً إلى (211) بئراً في سيناريو الغمر الأخطر (8.82 m)، مع تضرّر عدد من الخزّانات والعيون والينابيع، وهي مؤشّرات خطرة أيضاً على تضرّر الموارد المائيّة في المحافظة.
4. نوصي بمراقبة مستوى مياه البحر باستمرار مع رصد الحالات الجوّيّة الشّاذّة في المنطقة السّاحليّة نظراً للضّرر الكبير الّذي سيسبّبه الغمر في الموارد المائيّة ضمن المحافظة بحال حدوثه، كما نوصي بدراسة تأثير الغمر على المياه الجوفيّة، بالإضافة إلى ضرورة حماية التّجمّعات السّكنيّة من آثار الغمر الممكن حدوثه ووضع خطّة لتفادي هذه الأضرار اعتماداً على نتائج الدّارسة وفق أولويّات الأهمّيّة.

References:

[1] DANGENDORF, S.; HENDRICKS, N.; SUN, Q.; KLINCK, J.; EZER, T.; FREDERIKSE, T.; CALAFAT, FM.; WAHL, T.; TÖRNQVIST, TE. *Acceleration of US Southeast and Gulf coast sea-level rise amplified by internal climate variability*. Nature Communications, USA, Volume 14, Issue 1, 2023, 1-11.

[2] MCMICHAEL, C.; DASGUPTA, S.; AYEB-KARLSSON, S.; KELMAN, I. *A review of estimating population exposure to sea-level rise and the relevance for migration.* Environmental Research Letters, Volume 15, Issue 12, 2020, 1-25.

[3] DONG, L.; CAO, J.; LIU, X. *Recent Developments in Sea-Level Rise and Its Related Geological Disasters Mitigation: A Review*. Journal of Marine Science and Engineering, Volume 10, Issue 3, 2022, 1-20.

[4] SALEH, H. A.; ALLAERT, G. *Disaster management and risk reduction: impacts of sea level rise and other hazards related to tsunamis on Syrian coastal zone*. In Typhoon impact and crisis management, 2014, 481-537.

[5] ABDURRAHMAN, A.; KHALIL, R. *Flood Mapping of Northern Alkabir River Basin Due to Proposed Failure of 16 Tishreen Dam*. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series, Volume 38, Issue 5, 2016, 559-578.

[6] HAIFA, M.; GHANDOUR, R. *Flood Mapping Due to Proposed Overtopping Failure of Al Bassel Dam*. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series, Volume 45, Issue 3, 2023, 567-583.

[7] ABOU SAMRA, R. M.; EL-GAMMAL, M.; AL-MUTAIRI, N.; AlSAHLI, M. M.; IBRAHIM, M. S. *GIS-based approach to estimate sea level rise impacts on Damietta coast, Egypt*. Arabian Journal of Geosciences, Volume 14, 2021, 1-13.

[8] SARRAU, J.; ALKAABI, K.; HDHAIBA, S. *Exploring GIS Techniques in Sea Level Change Studies: A Comprehensive Review*. Sustainability, Volume 16, Issue 7, 2024, 1-22.

[9] CHAABAN, F.; AL KHALIL, O.; BADDOUR, M. *A Research Contribution to Improve the Accuracy of the Free Global Digital Elevation Model SRTM-1 in Areas of the Syrian Coast.* Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series, Volume 44, Issue 5, 2022, 253-272.

[10] FAOUR, G.; FAYAD, A.; MHAWEJ, M. *GIS-Based Approach to the Assessment of Coastal Vulnerability to Sea Level Rise: Case Study on the Eastern Mediterranean*. Journal of Surveying and Mapping Engineering. Volume 1, Issue 3, 2013, 41-48.

[11] EL-RAEY, M.; FRIHY, O.; NASR, S.; DESOUKI, S.; DEWIDAR, K. *Vulnerability assessment of sea level rise over Port Said Governorate, Egypt*. Environmental Monitoring and Assessment, Volume 5, Issue 2, 1999, 113–128.

[12] JEVREJEVA, S.; WILLIAMS, J.; VOUSDOUKAS, M. I.; JACKSON, L. P. *Future sea level rise dominates changes in worst case extreme sea levels along the global coastline by 2100*. Environmental Research Letters, Volume 18, Issue 2, 2023, 1-9.

[13] *E.U Copernicus Marine Service Information (CMEMS), Marine Data Store (MDS),* DOI: 10.48670/moi-00280 (Accessed on 19 Nov 2023)

[14] ALAA ADEEN, M.; MOHAMMAD, S. *A Study Of The Tsunami Wave Immersion Of The Coast Of Tartous Governorate*. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series, Volume 45, Issue 4, 2023, 343-354.

[15] AL KHALIL, O.; HWAIJEH, R. *The Effect of the Number of Check Points on the Evaluation of the Vertical Accuracy of the Free Digital Elevation Model SRTM-1. Case study: Latakia Governorate*. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series, Volume 45, Issue 5. 2023, 51-68.