جيومورفولوجية التومبولو بالساحل الشمالي الغربي لشبه جزيرة قطر

د. سيد محمود مرسي سعيد*

الملخص:

تهتم الدراسة الحالية بدراسة ظاهرة التومبولو، وهو من الأشكال الأرضية الإرسابية التي تتشكل في المضايق الضحلة التي تقع بين الجزر واليابس الرئيسي. التومبولو عبارة عن لسان رملي أو صخري يربط بين الجزيرة الشاطئية واليابس الرئيسي. وتستخدم الدراسة الحالية دراسة حالة من السواحل القطرية لإظهار الاختلافات بين التومبولو، والتعرف على أسباب تطور التومبولو.

يتشكل التومبولو نتيجة عمليات انكسار وانحراف الأمواج وعمليات نقل الرواسب على طول الشاطئ في الجانب المحمي من الجزيرة. حيث تنكسر الأمواج حول الجزيرة التي تُعد بمثابة العقبة البحرية وتقوم بترسيب الرواسب خلف الجزيرة. يتشكل التومبولو في حالة إذا ما كانت المسافة الشاطئية بين الجزيرة واليابس الرئيسي أقل من ١,٥ مرة من طول الجزيرة الشاطئية.

الكلمات الدالة: التومبولو، انكسار الأمواج، انحراف الأمواج، التحليل المورفومتري، التحليل الإحصائي.

المقدمة :

تنتشر ظاهرة التومبولو قُرب الساحل الشمالي الغربي من شبه جزيرة قطر، تحديداً في النطاق الذي يمتد من رأس الزبارة شمالاً حتى رأس دخان جنوباً، ويبلغ طول هذا القطاع من الساحل حوالي ٧٠ كم. تقع رأس الزبارة عند تقاطع دائرة عرض ٢٠,٩٣ً ٥٩َ ٢٥° شمالاً وخط طول ٣٠,٣٨ً ١َ ٥١° شرقاً، وتقع رأس دخان عند تقاطع دائرة عرض ٣٤,٥٠" ٣١' ٢٥° شمالاً وخط طول ٢٥,٦٨ً ٤٧َ ٥٠° شرقاً.

---

* أستاذ مساعد بقسم الجغرافيا، كلية الآداب – جامعة الفيوم (مصر).

يتميز الساحل الغربي بالنشأة الصدعية وتسود عليه خطوط التصدع التي تُشكل مضايق متوازية ضيقة، مما أدى إلى فتح الممرات البحرية التي تكون مُحددة بواسطة الجزر الصخرية الشاطئية الصغيرة التي تشكلت. كما يتميز خط الساحل في هذا القطاع أيضاً بكثرة تداخل اليابس والماء، حيث تكثر فيه الرؤوس الأرضية مثل رأس أبروق ورأس أم حيش ورأس الزبارة ورأس عشيرج ورأس دخان، والخلجان والدوحات مثل دوحة فشياخ ودوحة الحصين ودوحة أم الماء وأسيود وخليج زكريت، ويضفي هذا الأمر على هذا الجزء من الساحل سمه السواحل المتعرجة، حيث يبلغ معامل تعرج خط الساحل هنا ١,٢٨. وتبلغ نسبة طول ساحل منطقة الدراسة ٢٦,٩% من جملة طول الساحل الغربي من شبه جزيرة قطر الذي يبلغ ٢٦٠ كم (ياسين طه، ١٩٨٠، ص ٣٢). شكل (٣).

تهدف هذه الدراسة إلى: ١- تقديم حصر شامل عن ظاهرة التومبولو كأحد ظاهرات الإرساب البحري، ٢- وصف وتحليل التوزيع المكاني لها واختلاف خصائصها الشكلية، ٣- دراسة علاقة التومبولو بالعوامل البيئية مثل حركة الأمواج من أجل فهم ديناميكية حركتها وتطورها.

ولتحقيق أهداف الدراسة، فقد تم الاعتماد على الدراسة الميدانية، والصور الجوية، وصور الأقمار الصناعية من جوجل إرث بصفة أساسية. وذلك من أجل أخذ القياسات المورفومترية المختلفة للتومبولو، بالإضافة إلى التحليل الإحصائي لأبعاد التومبولو. وسيتم دراسة التومبولو من خلال النقاط التالية:

أولًا : جيولوجية منطقة الدراسة

ثانيًا : التعريفات المختلفة للتومبولو

ثالثًا : نشأة وتكوين التومبولو

رابعاً : تطور التومبولو

خامسًا : أنواع التومبولو

سادسًا : الأبعاد المورفومترية للتومبولو

سابعًا : التحليل المورفولوجي للتومبولو

ثامنًا : التحليل الإحصائي لأبعاد للتومبولو

تاسعًا : الخاتمة، وتتضمن النتائج وبعض التوصيات.

أولًا - جيولوجية منطقة الدراسة :

يتضح من الخريطة الجيولوجية (شكل ١) أن التكوينات الجيولوجية السطحية بمنطقة الدراسة تتألف من الصخور الجيرية والرواسب المفككة التي يتراوح عمرها بين الزمنين الثالث والرابع، كما يأتي:

١) تكوينات الزمن الثالث :

تنتشر تكوينات الزمن الثالث بمنطقة الدراسة في تكوين الرس، وتكوين الدمام الذي يُغطي معظم منطقة الدراسة، وفيما يلي عرض لهذه التكوينات.

أ- تكوين الرس (الإيوسيني الأسفل):

يتكون التتابع من صخور هشة من الطباشير والدولوميت والحجر الجيري الأبيض، والصلصال الأخضر، والجبس، والانهيدريت، وبعض العقد والحصى الكبير الحجم من الكوارتز والصوان التي تُمثل أحد المصادر محلياً لرمال التومبولو (امبابي وعاشور، ١٩٨٣، ص ٣٦). وتظهر تكوينات الرس إلى الشرق من رأس دخان.

ب- تكوين الدمام (الإيوسن الأسفل والأوسط) :

تنقسم تكوينات الدمام في دولة قطر إلى جزئين علوي وسفلي. وينقسم الدمام الأسفل إلى عضوي مدره ودخان ويرجع إلى الإيوسين الأسفل، ويتميز بقلة انتشاره نسبة إلى تكوينات الدمام الأعلى، ويتكون عضو المدرة من الجبس بينما يتكون عضو الدخان من الحجر الجيري الرقيق السُمك والحامل للفورامنفيرا الكبيرة. وتتميز تكوينات الدمام الأسفل بقلة مقاومتها لعمليات التعرية.

ينقسم الدمام الأعلى إلى وحدة سُفلية وتتمثل في عضو أم باب الذي يُعرف أيضاً باسم عضو سمسمة الذي يتكون من الحجر الجيري الدولوميتي به بعض العقد الصوانية وبه أيضاً بعض الشروخ غير المنتظمة، ويُغطي معظم أجزاء سطح منطقة الدراسة. ووحدة علوية وتتمثل في عضو أبروق الذي يتكون من الحجر الجيري والدولوميت والمارل والطباشير والصلصال. ويتميز هذا العضو بمحدودية انتشاره ويوجد بشكل رئيسي في المناطق المنخفضة التي تجاور طية دخان المحدبة ومنطقة زكريت وفي شبه جزيرة أبروق (امبابي وعاشور، ١٩٨٣، ص ٣٧).

وبصفة عامة تكوينات الدمام تُغطي نحو ٩٠% من منطقة الدراسة، ومن ثم أسهمت خصائص صخورها الجيرية قابلة الذوبان والنحت في تشكيل العديد من الظاهرات الجيومورفولوجية الساحلية، مثل تكون الكهوف البحرية وحفر الإذابة وغيرها، كما أدى تبادل الحجر الجيري والمارل إلى شيوع

ظاهرة التقويض السفلى وتساقط الكتل الصخرية التي تؤدي إلى تراجع الجروف البحرية ومن ثم توفر الرواسب الشاطئية التي يجرفها تيار الأمواج المرتد نحو البحر حيث يُمثل أحد المصادر الأخرى لرمال التومبولو.

٢) تكوينات الزمن الرابع (البلايستوسين والهولوسين) :

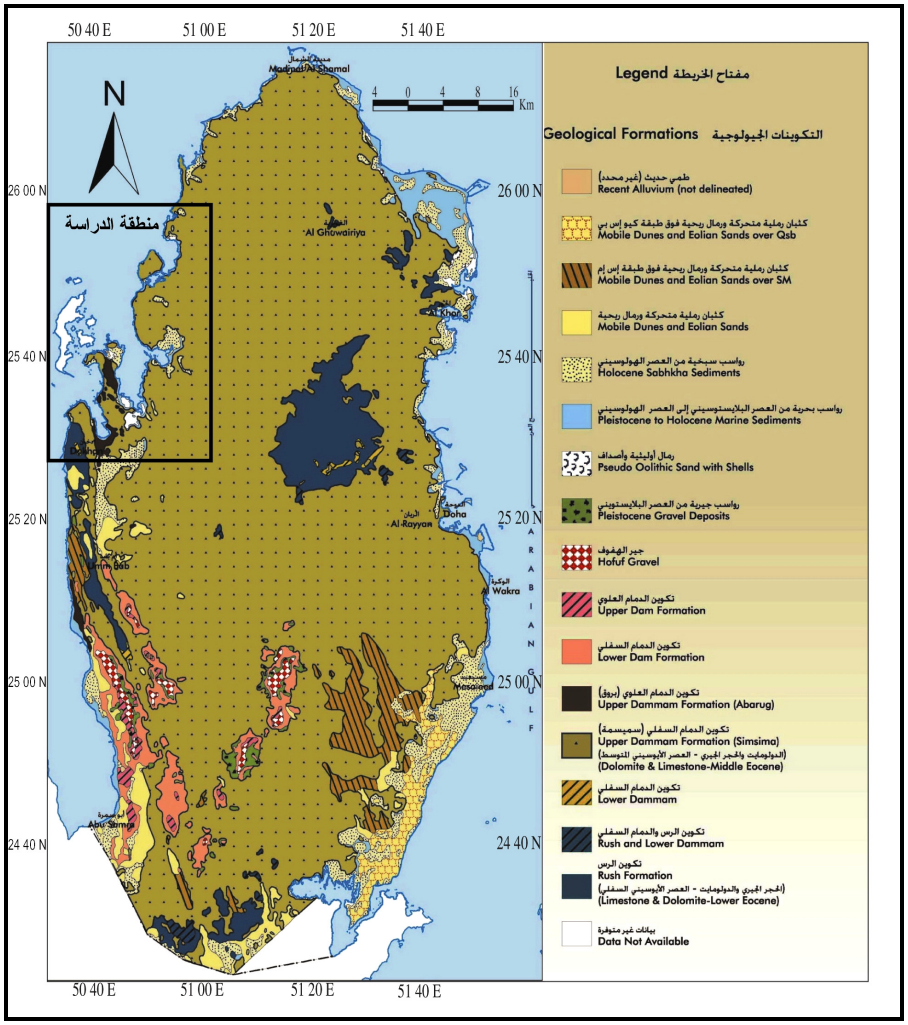
تتألف تكوينات الزمن الرابع بمنطقة الدراسة من الرواسب البحرية التي تتمثل في الرواسب الشاطئية والرمال الكلسية ورواسب السبخات، والرواسب القارية التي تشمل الرواسب الحصوية والرواسب الطينية السلتية والرواسب الرملية الهوائية ورواسب الأودية.

فبالنسبة للرواسب البحرية فنجد أن الرواسب الشاطئية تنتشر بمنطقة الدراسة وهي من الرواسب الحديثة في شبه جزيرة قطر، وتتألف من الرمال المفككة وبقايا الأصداف وذرات الكوارتز. وتنتشر بالساحل الشمالي الغربي قرب الزبارة. وتنقسم الرواسب الساحلية حسب موضعها من البحر الحالي إلى رواسب المد العالي التي تتمثل في رواسب السبخات الساحلية، ورواسب منطقة المد التي تمتد على هيئة حزام يتراوح عرضه بين عدة أمتار ونحو كيلو متر، وتظهر بوضوح في مناطق الخلجان والدوحات المنتشرة بمنطقة الدراسة، ومعظم رواسبها من الطين والغرين الجيري، ورواسب ما تحت المد وتشمل التومبولو، والألسنة، والحواجز البحرية، والشعاب المرجانية (محمود عاشور، ١٩٩١، ص ١٢٥).

تنتشر السبخات الساحلية في مواقع متفرقة بمنطقة الدراسة حول الخلجان والرؤوس مثل دوحة فشياخ وخليج زكريت ورأس أبروق. وتتألف رواسب السبخات من رمال بحرية كلسية مختلطة بنسب متفاوتة من الطفل والطين الناعم مغطاة بقشرة ملحية رقيقة، ويكاد ينعدم فيها النبات الطبيعي باستثناء نمو بعض النباتات الملحية بها.

أما بالنسبة للرواسب القارية فتنتشر الرواسب الطينية في قاع بعض الأودية التي تصب في مياه البحر، وتتألف من السلت والطين والكلس، وهي رواسب ناعمة ترتفع بها نسبة السليكا. وقد أُرسبت هذه الرواسب بواسطة السيول الجارفة عقب سقوط الأمطار أو بواسطة الرياح، ورسبتها في بطون الأودية.

وتنتشر الرواسب الحصوية في مناطق محدودة من منطقة الدراسة، حيث تظهر في ركام السفوح، وعند حضيض التلال مثل تلال زكريت، وتتألف هذه الرواسب الحصوية من الصوان والزلط والحجر الجيرى، ويبدو أن الرواسب الحصوية مشتقة من الحجر الجيرى الإيوسيني الأوسط فهي محلية الأصل.



شكل (١) : الخريطة الجيولوجية لشبه جزيرة قطر.

المصدر: أطلس قطر الوطني، ٢٠٠٦، ص ١٦.

أما الرواسب الرملية الهوائية فتنتمي إلى أواخر العصر الحديث (الهولوسين)، وهي عبارة عن رمال مفككه تتألف من حبيبات الكوارتز والكلس وفتات الحجر الجيري والطباشير وغيرها، ويدل وجودها على أن الرمال ذات الأصل البحري قد اختلطت بالرمال التي شكلتها الرياح، وتتخذ هذه الرواسب اتجاهاً عاماً من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي متمشية مع اتجاه الرياح الشمالية الغربية السائدة.

البنية الجيولوجية :

أما عن البنية ومدى أثرها على التومبولو، فتتميز البنية ببساطتها في شبه جزيرة قطر. فشبه جزيرة قطر عبارة عن طية محدبة يمتد محورها الطولي في اتجاه شمالي جنوبي (شكل ٢). وتميل طبقاتها ميلاً خفيفاً نحو الشرق والغرب، ومن الطيات المحلية بمنطقة الدراسة طية زكريت المقعرة، ومحدب أبروق، ومقعر دوحة الحصين. ويرجع لهذه الأشكال البنيوية مسؤولية نشأة بعض التداخلات الساحلية التي ينتشر أمامها التومبولو مثل خليج زكريت، ودوحة الحصين، ورأس أبروق (محمود عاشور، ١٩٩١، ص ١٢٩). وبالنسبة للانكسارات فتوجد بعض الانكسارات تحف بجبل دخان وبجانبي خليج سلوي. أما الفواصل والشروخ فتوجد بعض ظاهرات السطح تتخذ نمطاً خطياً في اتجاهات مختلفة من شبه جزيرة قطر حيث ساعدت تلك الفواصل والشروخ على نشأة ظاهرات تتخذ نفس الاتجاهات الطولية، وقد تكونت هذه الفواصل أثناء تكوين الطيات والانكسارات الأخرى (امبابي وعاشور، ١٩٨٣، ص ص ٤٢-٤٣)، وتتضح عمليات الإرساب البحري أكثر من عمليات النحت في المناطق التي لا يوجد فيها التواءات وانكسارات.

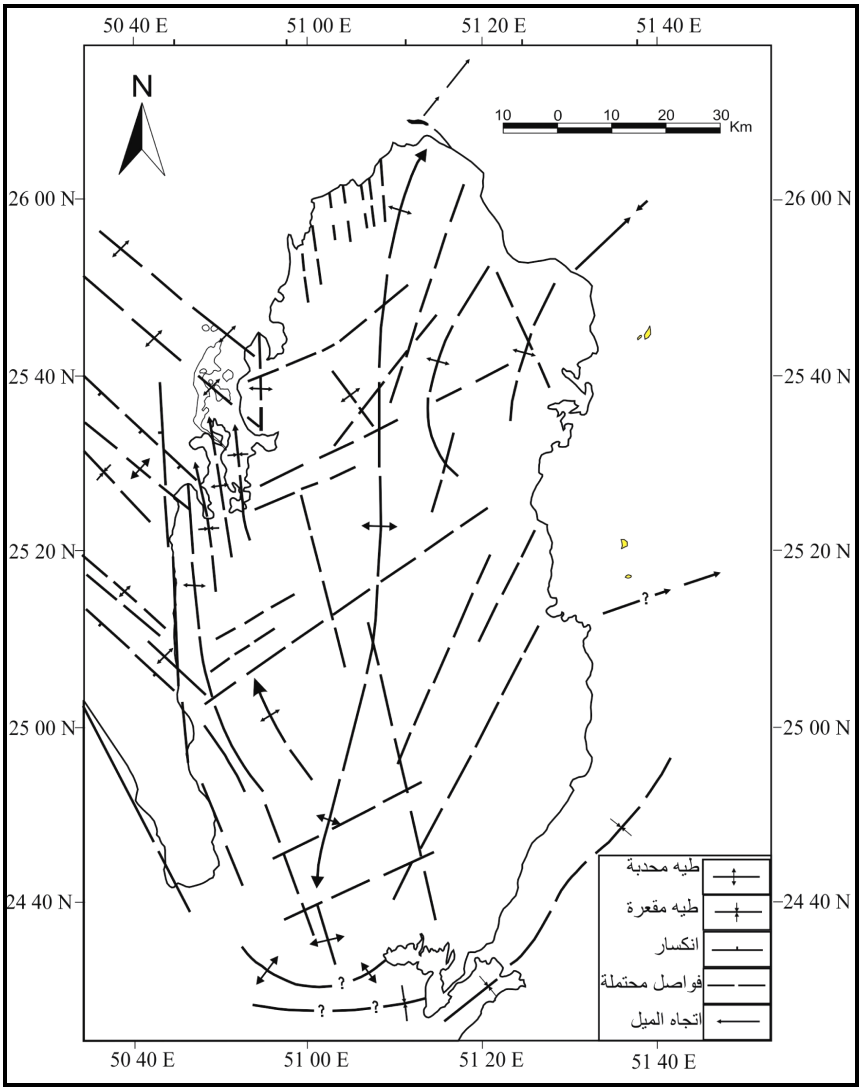
ثانيًا - التعريفات المختلفة للتومبولو:

مصطلح التومبولو إيطالي الأصل، وهو عبارة عن لسان من الرمل أو الحجر أو الحصى يربط الجزيرة بالساحل المجاور لها (Derek, 1997, p. 202). ويُعتبر التومبولو جزء من الأشكال الأرضية الرسوبية الساحلية المنخفضة. وتنتشر ظاهرة التومبولو على الساحل الشمالي الغربي من شبه جزيرة قطر حيث تكثر الجزر الشاطئية الممتدة أمام هذا الساحل (شكل ٣).

يربط التومبولو بين جزيرة صغيرة واليابس الرئيسي أو بين جزيرة وجزيرة أخرى، ويطلق على العديد من الألسنة التي ترتفع فوق مستوى المياه التي تربط الجزر ببعضها البعض اسم مجموعة التومبولو (Glossary of Geology, 1957).

التومبولو عبارة عن نوع من البرازخ التي تشكلت من المواد الرسوبية بين الجزر القريبة من الشاطئ من خلال عمليات الشاطئ (Harri, et al., 2004, p. 234). حيث تُمثل المياه الضحلة التي توجد بين الجزيرة واليابس الرئيسي مواضع نشأة التومبولو حيث تتكون الحواجز والألسنة الرملية.

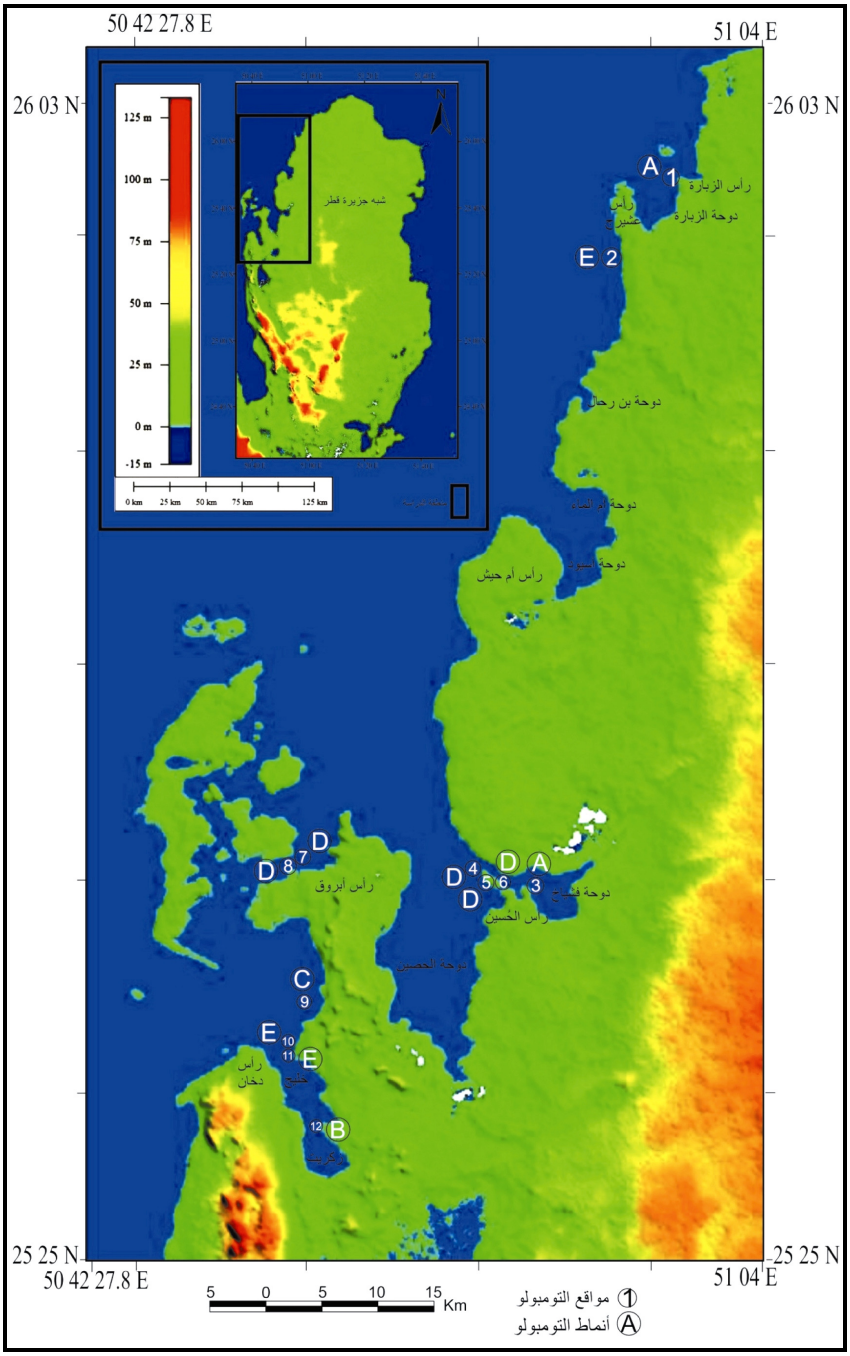
التومبولو عبارة عن اللسان الطبوغرافي المنخفض الذي يربط الجزر القريبة من الشاطئ بخط الشاطئ. ويتشكل التومبولو عن طريق تأثير الجزر على اقتراب الأمواج من الساحل (Mark, 2010, p. 19).



شكل (٢) : البنية الجيولوجية لشبه جزيرة قطر.

المصدر: امبابي وعاشور، ١٩٨٣، ص ١٧٢.

ويُعرف جودي Goudie التومبولو على أنه حاجز رملي، أو لسان رملي يربط جزيرة بالياس الرئيسي، وينتج من انجراف الرواسب على طول الشاطئ أو بسبب هجرة الحاجز الرملي في الشاطئ البعيد باتجاه الساحل (Goudie, 2004, p. 1054).



شكل (٣) : مواقع وأنماط التومبولو بالساحل الشمالي الغربي من شبه جزيرة قطر.

التومبولو عبارة عن إحدى الجزر المقتطعة من الساحل، والتي ارتبطت به في مرحلة لاحقة بواسطة ألسنة رسوبية (صبري محسوب، ١٩٩٧، ص ٢٥٦).

تُعرف الدراسة الحالية التومبولو على أنه عبارة عن أحد ظاهرات الإرساب البحري منخفضة المنسوب، ويظهر على شكل لسان يتألف من الرمل أو الحصى في مناطق المضايق الضحلة الواقعة بين الجزر الشاطئية واليابس الرئيسي، ويربط بين جزيرتين شاطئيتين أو يربط بين جزيرة شاطئية واليابس الرئيسي، ويبدو على شكل يُشبه الجسور. ويمثل التومبولو جزء من التسلسل الهرمي للأشكال الإرسابية البحرية.

ثالثاً – تكوين وتشكيل التومبولو :

يتشكل التومبولو في الساحل الشمالي الغربي من شبه جزيرة قطر من الرواسب المنقولة بفعل الأمواج على طول الشاطئ التي تترسب خلف الجزر الشاطئية الممتدة أمام الساحل. حيث تتوفر في منطقة الدراسة الرواسب الرملية والمفتتات الصخرية التي قامت الأمواج باشتقاقها من الصخور التي ترتكز فوقها الجزر، بالإضافة إلى الرواسب التي تُغطي تلك الجزر أيضاً بفعل العمليات الساحلية الطبيعية المختلفة، حيث يتبع تشكيل التومبولو نظام الأمواج السائدة بمنطقة الدراسة. يتشكل التومبولو نتيجة التفاعل بين الجزر والعمليات الساحلية، حيث تتعرض الجزر الشاطئية التي تتكون من الصخور المكشوفة التي تقع في نطاق تكسر الأمواج لعمليات النحت بفعل الأمواج، الأمر الذي يوفر كميات كبيرة من الرمال والمفتتات الصخرية التي سرعان ما تنقلها الأمواج وتقوم بتجميعها وترسيبها خلف الجزيرة، ومع استمرار عملية الترسيب والتراكم ينتج عنها بعد ذلك حركة رفع الركام الذي يتألف من الرواسب الرملية أو الحصوية، وبالتالي يتم تشكيل التومبولو، لذا يعزى تشكيل التومبولو إلي فعل الأمواج. ويُساهم في تشكيل التومبولو بعض العوامل والعمليات المختلفة وهي كما يلي:

الرياح :

تسود الرياح الشمالية والشمالية الغربية بمنطقة الدراسة، وهي الرياح المسؤولة عن تولد حركة الأمواج الضخمة في المنطقة التي تؤثر في تشكيل التومبولو (Helen and David, 2010, p. 1757)، بالإضافة إلى هبوب الرياح من جميع الاتجاهات الأخرى. تُمثل الرياح الشمالية بأنواعها المختلفة الاتجاه السائد للرياح والأكثر سرعة أيضاً في شبه جزيرة قطر (شكل ٨)، حيث تبلغ نسبتها مجتمعة ٦٣,٤% من إجمالي اتجاه الرياح، وخاصة الرياح الشمالية الغربية السائدة التي تُلقي بجزء كبير من حمولتها داخل الخلجان والدوحات الضحلة، وتبلغ نسبتها ٣٣,١%، وتليها في الأهمية الرياح

الشمالية الشرقية بنسبة ١٦,١% ثم الشمالية بنسبة ١٤,٢%. ثم تأتي الرياح الجنوبية الشرقية (رياح الكوس) من حيث الأهمية وتبلغ نسبتها ١١,٢%، أما الرياح الجنوبية فنسبة هبوبها قليلة وتبلغ ٢,٥%، والجنوبية الغربية تبلغ ٥,٧%، ويبلغ إجمالي نسبة الرياح الجنوبية ١٩,٤% من إجمالي اتجاه الرياح. بينما تقل أهمية الرياح الشرقية والغربية حيث تبلغ نسبتها ٦,٦% و ٧,١% من إجمالي اتجاه الرياح على التوالي.

تسود الرياح الشمالية الغربية في أشهر فصل الصيف عن الفصول الأخرى، كما تسود الرياح الشمالية الغربية، والشمالية، والجنوبية الشرقية في فصلي الربيع والشتاء، أما في الخريف فتكون الاتجاهات الغالبة هي الشمالية الشرقية والجنوبية ثم الشمالية الغربية. ويتراوح المُعدل الشهري للسرعة القُصوى للرياح بشبه جزيرة قطر بين ٢٢ عقدة/ ساعة في شهر أكتوبر و ٤٤ عقدة/ ساعة في شهر يونيو، كما تتراوح المتوسطات الشهرية لمتوسط سرعة الرياح ٦,٥ عقدة/ ساعة و ١٠ عقدة/ساعة.

وتتوافق الأمواج السائدة بالمنطقة مع اتجاه الرياح السائدة أيضاً، باستثناء بعض المواقع حيث يكون اتجاه الرياح الشمالية الغربية محدود ويسود اتجاه أخر للرياح والأمواج. ومن ثم معظم التومبولو الذي تشكل في منطقة الدراسة تشكل في اتجاه الجنوب الشرقي. تم تشكيل عدد قليل فقط من التومبولو نتيجة تأثير الأمواج الشمالية الشرقية.

الأمواج :

تمتاز خصائص الأمواج بمنطقة الدراسة بخصائص البحار الضحلة حيث تتميز بأنها أمواج قصيرة وأقل انحدار وأكثر تكسراً، يتأثر ساحل منطقة الدراسة بسمات الرياح الهابة عليه. وطبقاً لسرعة الرياح بالكم فالأمواج المرتبطة بها تتأثر بمدى سرعتها حيث تصل أقصاها في الساحل الشمالي الغربي حوالي ١١,٨ كم/الساعة (٦,٤ عقدة)، ويتعرض ساحل منطقة الدراسة لغزو الأمواج التي تتراوح بين الأمواج الهادئة والخفيفة إلى الأمواج الهائجة. وللأمواج أثرها في نقل وترسيب الرواسب مُخلفة بصماتها في تشكيل ظاهرة التومبولو في كثير من جهات ساحل منطقة الدراسة.

المد والجزر :

يتميز الساحل الشمالي الغربي لدولة قطر بارتفاع قيم المد العالي بصفة عامة، حيث تتناسب حركة المد والجزر عكسياً مع المساحة التي تحدث فيها، وتظهر حركة المد بالخلجان والدوحات المنتشرة بمنطقة الدراسة بشكل واضح نظراً لصغر مساحتها وضيقها الواضح كما إنها شبه مغلقة. يتراوح المد والجزر بين ١,٥٨ متر بالقرب من رأس عشيرج كأعلى مستوى للمد و ٠,٢٢ متر بدوحة

الحصين كأدنى قيمة للجزر (إدارة الأرصاد الجوية بقطر، ٢٠١٤) لذا يبلغ مدى المد على الساحل الشمالي الغربي لدولة قطر ١,٥٨ متر. ويتضح مما سبق أن ساحل منطقة الدراسة يدخل ضمن السواحل قليلة المد أقل من ٢ م وذلك طبقا لتقسيم هايس Hayes حيث يتراوح المدى بين منسوبي المد والجزر بين ١-٢ متر (السيد الحسيني، ١٩٨٨، ص ٢٨).

يقتصر تأثير حركة المد والجزر بمنطقة الدراسة عند حدوث المد العالي، حيث تساعد مياه المد العالي على تراكم الرواسب المفككة في المناطق المنخفضة التي تقع بين الجزر الشاطئية واليابس والتي يتشكل وينمو فيها التومبولو. كما تكمن أهمية المد والجزر نصف اليومي المنتشر بالساحل الشمالي الغربي في أن الفترة الجافة دائما أقل من ١٢ ساعة، ولذلك فإنها تحدد الفترة التى يُمكن لعمليات التجوية أن تلعب دورها عندما تتكشف الشواطئ أثناء حدوث الجزر وانحسار مياه البحر، حيث تُسهم التجوية على شواطئ الجزر واليابس في تفكك الصخور الجيرية مما يزيد من تراكم الرواسب المفككة في منطقة تكون التومبولو أثناء انحسار المياه عنها أثناء الجزر.

التيارات البحرية :

التيارات البحرية في الخليج العربي ذو طبيعة خاصة حيث يسير التيار الساحلي الطولي بموازاة الساحل الغربي لقطر من الشمال إلى الجنوب، ويتحرك بسرعة ٣ عقدة/ساعة في المتوسط في اتجاه ضد عقارب الساعة، وأثناء توغل هذا التيار داخل الخلجان والدوحات والأخوار المنتشرة بمنطقة الدراسة، فإنه يتخلص من جزء كبير من حمولته على قاع تلك التداخلات الساحلية بسبب ضحالة المياه في تلك الخلجان. وهناك رمال كثيرة تتحرك من الجانب الشرقي للجزيرة العربية نحو خليج سلوى تحت تأثير الرياح الشمالية ثم يُعاد دورانها في الخليج مع غيرها من الرواسب بواسطة التيار البحري (عكس عقارب الساعة) (محمود عاشور، ١٩٩١، ص ١٣٩)، وبتوالي عملية الإرساب على قيعان التداخلات الساحلية تتوفر الرواسب التي تُسهم في تشكيل التومبولو التي يأخذ بعضها نفس اتجاه التيار الساحلي الطولي.

تلعب الرؤوس الأرضية البارزة من ساحل منطقة الدراسة والمتوغلة في مياه البحر مثل رأس الزبارة ورأس عشيرج ورأس أم حيش ورأس أبروق وغيرها دوراً في نشأة التيارات البحرية حيث يؤدي إلى حدوث تيارات جانبية ومرتدة في الخلجان والدوحات الواقعة بينها مثل دوحة الزبارة ودوحة فشياخ ودوحة أم الماء وأسيود ودوحة الحصين وخليج زكريت. ولما كانت الرياح الشمالية والشمالية الغربية هي الرياح السائدة على دولة قطر الأمر الذى يُضعف بدوره من تأثير التيارات البحرية الجنوبية.

ترجع أهمية التيار البحري الذي يتحرك موازياً للساحل الغربي من الشمال إلى الجنوب يحمل معه كميات وفيرة من الرواسب، ويلقي ببعضها داخل الخلجان والدوحات المنتشرة بمنطقة الدراسة ليبني ببعض هذه الرمال ظاهرات الإرساب البحري مثل التومبولو، والحواجز والألسنة عند مداخلها، ويفترش البعض الآخر القاع. ويسير هذا التيار عكس عقارب الساعة، ويُعد هذا التيار مسئولاً عن توزيع الرواسب داخل الدوحات والخلجان وتشكيل ظاهرات الإرساب البحري المختلفة (محمود عاشور، ١٩٨٩، ص ص ٢٠-٢١).

ويتضح مما سبق أن التيار الساحلي يُعد مسئولاً عن توزيع الرواسب داخل الدوحات والخلجان، ويُساهم في توفير الرواسب التي يتشكل منها التومبولو، وتكمن أهميته في كونه عامل ترسيب أكثر منه نحت؛ لأنه يسير بموازاة الساحل وليس عمودياً، ولذلك تأتى أهميته كعامل ترسيب على المدى الطويل لأنه يمارس عمله في اتجاه واحد فترة طويلة من الزمن (King, 1972, P. 570).

انحراف وانكسار الأمواج :

تنتشر مجموعة من الجزر الشاطئية صغيرة الحجم أمام الخلجان والدوحات والرؤوس المنتشرة بمنطقة الدراسة. حيث يتحرك خط الشاطئ نحو الجزر التي تُعتبر بمثابة كاسرة أمواج منفصلة، وذلك بسبب تراكم الرمال خلف الجزيرة في الجانب المحمي من الأمواج حيث يتم تخفيض طاقة الأمواج وتفريغ الرواسب على طول الشاطئ وبالتالي يحدث ترسيب الرمال.

تعمل الجزر كعوائق بحرية obstructions، وتُسبب انكسار الأمواج لأنها تلتف حول الجزر. فعندما تقترب الأمواج من الجزر الشاطئية تنحرف حينئذ قمم الأمواج بدرجة تجعل جبهاتها تلتف حول الجزيرة، وتقترب الأمواج من الساحل بزاوية مائلة من كلا جانبي الجزيرة. يؤدي هذا الانحراف في قمم الأمواج إلى حدوث تشتت لطاقة الأمواج، وقيام الأمواج بتحريك الرواسب في كلا جانبي الجزيرة باتجاه شواطئ الخلجان والدوحات مما ينتج عن ذلك نقص في طاقة الأمواج وحدوث تراكم للرواسب فيما بين الجانب المحمي من الأمواج من الجزيرة واليابس الرئيسي. (صبري محسوب، ١٩٩٧، ص ٢٦٤).

يتشكل التومبولو في منطقة الدراسة بصفة رئيسية من انكسار وانحراف الأمواج. حيث تتباطأ سرعة الأمواج بالقرب من الجزر الشاطئية الممتدة أمام اليابس بسبب المياه الضحلة المحيطة بتلك الجزر. وعندما تقترب هذه الأمواج من الجزيرة تنحرف إلى الجانب الآخر الخلفي من الجزيرة. يؤدي نمط الموجة التي تشكلت بفعل حركة المياه هذه إلى تجمع رواسب الشاطئ على الجانب الخلفي من الجزيرة. تتراكم الرواسب الشاطئية التى تحركت بفعل النقل الجانبي على الجانب الخلفي من الجزيرة

والمحمي من هجوم الأمواج، وتتطابق عملية تراكم وتجميع الرواسب مع شكل ونمط الموجه. حيث تكتسح الأمواج الرواسب من كلا الجانبين معاً. وفي النهاية، عندما يتم تراكم وتجميع كمية كافية من الرواسب بحيث تظهر فوق مستوى سطح المياه، ويبرز لسان رملي من خلف الجزيرة باتجاه اليابس المجاور لها، ومع زيادة عمليات الترسيب ينمو اللسان الرملي حتى يتصل باليابس المجاور للجزيرة ويتشكل حينئذ التومبولو الذي يربط اليابس بالجزيرة الشاطئية الممتدة أمامه (Easterbrook, 1999).

حركة انجراف الرواسب على طول الشاطئ :

عبارة عن حركة الرواسب على طول الساحل من خلال الأمواج التي تقترب بزاوية مائلة إلى الشاطئ، ولكنها تتراجع مباشرة بعيداً عن الشاطئ. عملية انجراف رواسب الشاطئ يتم من خلالها نقل الرواسب على طول الساحل. وتنتج عن وصول الأمواج بزاوية مائلة إلى الساحل. وهذا يعني أنه عندما تتكسر الأمواج على الشاطئ، تتقدم الأمواج الحاملة للرواسب نحو الشاطئ في زاوية مائلة. ثم يتحرك الماء وينتج تيار مرتد حاملاً معه الرواسب إلى أسفل منحدر الشاطئ.

وفي حالة انجراف الرواسب من الشاطئ من اتجاه واحد أو من الاتجاه السائد، كما في حالة معظم التومبولو المنتشرة بمنطقة الدراسة، فإن تدفق الرواسب يكون على طول الساحل من خلال الحركة التي لم تُحدد بواسطة الجزيرة المتصلة باليابس حالياً. مثل الجزيرتين المتصلتين برأس أبروق من جهة الشمال بواسطة تومبولو مزدوج، والجزر المتصلة برأس أم حيش بواسطة التومبولو. في هذه الحالة والحالات المشابهة، عندما تكون رواسب قطاع الشاطئ مُتصلة بالجزيرة يُمكن أن يُسمي ذلك تقنياً باسم التومبولو لأنه يصل الجزيرة إلى اليابس.

يتضح مما سبق أن التومبولو بمنطقة الدراسة ينمو في اتجاه رئيسي يتمشى مع حركة الرواسب على طول الشاطئ التي تنشأ نتيجة اقتراب الأمواج السائدة من خط الشاطئ. خاصة في الخلجان والدوحات المحمية من الأمواج مثل دوحة الزبارة ودوحة فشياخ ودوحة الحصين وخليج زكريت، حيث تهدأ حركة المياه ويقوم التيار بترسيب حمولته من الرواسب العالقة به، وتستمر عملية تراكم الرمال فوق سطح الماء على شكل لسان رملي يمتد خلف الجزر ليصلها باليابس الرئيسي (على الشيب،١٩٩٧، ص ١٠٥).

وبناء على ما سبق فإن التومبولو بمنطقة الدراسة يتشكل بفعل حركة انجراف الرواسب الشاطئية التي تتجه من الشمال والشمال الغربي نحو الجنوب والجنوب الشرقي على طول الشاطئ في الجانب المحمي خلف الجزر الشاطئية، جنباً إلى جنب مع عملية انكسار وانحراف الأمواج.

شكل وتوزيع الرواسب :

يتعرض شكل التومبولو للتغير، حيث يُعتبر التومبولو من أكثر الظاهرات الجيومورفولوجية عُرضه للتغيرات الطبيعية في شكلة ومساحته من الشاطئ العادي نتيجة لتغيرات المد والجزر والتغيرات المُناخية، وبسبب قابليته للتأثر بفعل عمليات التجوية.

عملية توزيع الرواسب في جسم التومبولو من العمليات المهمة جداً، فأحياناً يكون تكوين التومبولو أكثر صلابة من الطرق المرصوفة كما في حالة التومبولو المزدوج الذي يربط الجزيرة الممتدة أمام رأس أبروق والتومبولو الأخر الذي يربط الجزيرة الكبيرة باليابس الرئيسي لرأس أبروق الصورتان (١١، ١٢). حيث تتوزع الرواسب الأكثر خشونة في أسفل التومبولو، بينما تتوزع الرواسب الأكثر نعومة على سطح التومبولو. ويظهر ذلك النمط عندما تقوم الأمواج بغسل الرواسب الدقيقة الناعمة التي تغطي السطح العلوي من التومبولو، كاشفة عن الرمال والحصى الخشن في قاعدته. وقد يُسهم ارتفاع مستوى سطح البحر أيضاً في زيادة نمو التومبولو وذلك عن طريق دفع الرواسب إلى أعلى عند ارتفاع مستويات سطح البحر. تتمثل هذه الحالة في تومبولو رأس أبروق الذى يربط جزيرة أبروق باليابس لأن قمم الحافات الحصوية تكون موازية للساحل بدلاً من أن تكون عمودية عليه. يوضح التومبولو عدم الاستقرار في خط الشاطئ بصفة عامة (Neal, et al., 2007). حيث يُمكن للجزر الشاطئية الصغيرة المنتشرة أمام الساحل أن تُغير طريقة تحرك الأمواج مما يؤدي إلى ترسيب الرواسب المختلفة.

العوامل المميزة في تحديد ظاهرة الاتصال أو الربط التي يُمكن أن نعتبرها ظاهرة التومبولو هو أن يكون هناك الركيزة الأساسية التي تتمثل في التربة الرملية أو الحصوية السميكة، وربما تتمثل في واحد أو أكثر من جسور الشاطئ الطبيعية التي تقع طولياً على طول خط الاتصال. لا يمكن أن يُطلق على كل المنخفضات التي تقع بين الجزر مصطلح تومبولو. حيث توجد سبخات ومستنقعات متسعة، والركيزة الأساسية هي التربة السميكة، فمن الواضح أن بحيرة ساحلية سابقة قد تم ملأها عن طريق الترسيب أو الرفع، أو الاثنين معاً، علاوة على ذلك، عندما تكون الأرض بين جزيرتين مُغطاه بالرواسب الكبيرة، والربط أو الاتصال بين الجزر يمكن أن يُعزى إلى كشف الركام الأرضي الواقع في المنطقة بين الجزيرتين أو بين الجزيرة واليابس (Maurice, et al., 1989, p. 446).

التحليل الميكانيكي للرواسب السطحية للتومبولو :

يتألف معظم التومبولو من الرواسب المفككة الناعمة، ويتميز التومبولو بقلة ارتفاعه بصفة عامة حيث يتراوح ارتفاعه بين ٠,٣ – ٠,٥ متر. وللتعرف على طبيعة الرواسب التي يتألف منها التومبولو بمنطقة الدراسة فقد تم تحليل أربعة عينات من رواسب التومبولو (جدول ١): تتألف رواسب التومبولو من رواسب رملية تتكون غالباً من الرمل المتوسط والخشن، وتتراوح الرواسب بين رديئة التصنيف (ϕ١,٦) ورديئة التصنيف جداً (ϕ٢,٤) بمتوسط قيمة التصنيف (ϕ١,٨)، ويدُل التصنيف الرديء على أن الرواسب موضوعية النشأة أو رواسب ذات أصل فيضي (محمود عاشور، ١٩٩١، ص ١٧٦).

تتباين قيم الالتواء (صفر و –٠,٧) وهذا يدُل على احتمال تباين مواد الأصل المكونة لرواسب التومبولو وإن كانت هناك نتائج تُشير إلى التجانس حيث تتميز معظم الرواسب المكونة للتومبولو بكونها متماثلة الالتواء (صفر، صفر، –٠,١) كما في العينات (١و ٣ و ٤) ما عدا العينة رقم (٢) فالالتواء سالب جداً (–٠,٧)، وبمتوسط التواء (–٠,٢). وتُساعد قيم الالتواء في تحديد ظروف الترسيب، حيث إن أي اختلاف في قيم الالتواء يدُل على وجود رواسب ذات أصول مختلفة، لذا فإن قيم الالتواء المتماثلة (صفر و –٠,١) تُشير إلى ظروف ساحلية، أما قيمة الالتواء السالب (–٠,٧) فتدل على تواجد أكثر من مادة أصل مسؤولة عن تكوين رواسب التومبولو(محمود عاشور، ١٩٩١، ص ١٧٦). كما تتميز الرمال بأنها منبسطة التفلطح جداً بمتوسط (–٠,٢). ويمكن الاستنتاج من خصائص الالتواء والتفلطح أن الرواسب الخشنة في عينات رواسب التومبولو ربما ترجع إلى فتات الأصداف والشعاب المرجانية.

تُمثل نسب الرمل المتوسط والخشن أعلى نسب عينات رواسب التومبولو، فتبلغ نسبة الرمل المتوسط ٢٧,٧% ونسبة الرمل الخشن ٤١,٩%، وربما يرجع زيادة نسبة خشونة الرمال بها إلى اختلاط بعض فتات الشعاب المرجانية، والأصداف، والكائنات البحرية الكلسية الخشنة. ويبلغ متوسط التكوينات الحصوية بها ٢,٦%، وتبلغ نسبة الرمال بمختلف أحجامها ٩٥,٦%، ونسبة الطين والصلصال ١,٩%.

جدول (١) : نتائج التحليل الميكانيكي للرواسب السطحية للتومبولو.

رقم العينة	حصى ٢-٤ مم	رمل خشن جداً ١-٢ مم	رمل خشن ٠,٥-١ مم	رمل متوسط ٠,٢٥-٠,٥ مم	رمل ناعم ٠,١٢٥-٠,٢٥ مم	رمل ناعم جداً ٠,٠٦٣-٠,١٢٥ مم	طمى وصلصال أقل من ٠,٠٦٣ مم	نسبة الرمال %	خصائص التكوينات	الانتقاء ϕ	التفلطح ϕ	التصنيف ϕ
(١) تومبولو (١)	٢,٤	١٠,٢	٣٧,١	٢٧,٩	١٧,٢	٣,١	٢,١	٩٥,٥	رملية			
قيمة ϕ	-١,٣	-٣,٤	٥,٢-	٤,٨-	٤,١-	١,٦-	١,١-			٠,٠	٢,٢-	١,٧
(٢) تومبولو (٢)	٣,٥	٥,٩	٤٣,٦	٣٠,١	١٣,٦	٠,٧	٢,٦	٩٣,٩	رملية			
قيمة ϕ	-١,٨	-٢,٦	٥,٤-	٤,٩-	٣,٨-	٠,٥	١,٤-			٠,٧-	٠,٧-	٢,١
(٣) تومبولو (٦)	٠,٧	٤,٨	٤٤,٣	٣٢,٢	١٤,١	٣	٠,٩	٩٨,٤	رملية			
قيمة ϕ	٠,٥	-٢,٣	٥,٥-	٥,٠-	٣,٨-	١,٦-	٠,٢			٠,٠	١,٧-	٢,٤
(٤) تومبولو (٨)	٣,٧	٧,٨	٤٢,٩	٢٠,٦	١٨,٩	٤,٢	١,٩	٩٤,٤	رملية			
قيمة ϕ	-١,٩	-٣,٠	٥,٤-	٤,٤-	٤,٢-	٢,١-	٠,٩-			٠,١-	١,٣-	١,٦
المتوسط	٢,٦	٧,٢	٤١,٩	٢٧,٧	١٦	٢,٧	١,٩	٩٥,٦	رملية			
قيمة ϕ	-١,٤	-٢,٨	٥,٤-	٤,٨-	٤,٠-	١,٤-	٠,٩-			٠,٢-	٢,٠-	١,٨

وقد يرجع التباين في طبيعة هذه الرواسب إلى المصدر الذى أُشتقت منه حيث تتمثل رواسب التومبولو في: الرواسب الناتجة عن النحت البحري للجروف الملاصقة للساحل، حيث يعمل التيار الساحلي على إعادة ترسيبها على الشواطئ الأمامية للجروف، والخلجان المجاورة لها، والرواسب البحرية التي تُشتق بفعل تكسر الأمواج في المناطق الضحلة وأمام الجزر الشاطئية والرؤوس الأرضية البارزة في البحر بمنطقة الدراسة، حيث تُفتت الأمواج صخور قاع البحر وصخور الجزر والرؤوس في نقطة تكسرها وتقوم بترسيبها خلف نقطة تكسر الأمواج التي ما تلبث أن تتجمع على شكل حواف تحت سطح الماء، وبتكرار هذه العملية يزداد الإرساب فوق مستوى سطح البحر مشكلاً التومبولو، بالإضافة إلى رواسب الأودية التى تُلقيها عند مصباتها، والرواسب الهوائية التى تنقلها الرياح الشمالية الغربية من الأراضي المرتفعة وترسب بعضها في المناطق الساحلية المنخفضة.

وربما يرجع ارتفاع نسبة الحصى في بعض العينات إلى الرواسب القارية النهرية التي تتألف من الحصى والطين والمارل والكوارتز وبعض الصخور النارية مثل الجرانيت والبازلت والمعروفة بتكوين الهفوف وذلك في ظل ظروف مناخية رطبة. وتم نقل هذه الرواسب بواسطة نظام نهري قديم من شبه الجزيرة العربية إلى شبه جزيرة قطر (امبابي وعاشور، ١٩٨٣، ص ص ٣٨-٣٩).

ويتميز التومبولو بقلة انحداره بصفة عامة حيث يبلغ متوسط درجة انحداره ٣ درجات (خفيف الانحدار)، حيث يصل انحدار التومبولو رقم (١) الواقع إلى الشمال من دوحة الزبارة إلى ٣ درجات، ويتميز باتساعه النسبي ونعومة رواسبه ولا توجد جروف بحرية باليابس الذي يتصل به، وتنتشر بالقرب منه السبخات، بينما بلغ انحدار التومبولو رقم (٨) الذي يتصل برأس أبروق من اتجاه الشمال الغربي إلى نحو ٦ درجات، ويتسم باتساعه وخشونة رواسبه، وربما يرجع زيادة نسبة الحصى والرمال الخشنة به (عينة ٤) إلى اشتقاقها من صخور الجزر الشاطئية ومن جروف رأس أبروق. في حين يتميز التومبولو رقم (٦) (عينة ٣) الواقع إلى الشمال من رأس أبو الحسين ويقع إلى الغرب من دوحة فشياخ بقلة انحداره، وزيادة المسافة التى تغطيها مياه المد، حيث تصل درجة انحداره إلى درجة واحدة، ويتميز التومبولو بالانخفاض التدريجي لمسافات قصيرة تحت سطح المياه، وأحيانا كثيرة يختفى. وتقل به نسبة الحصي بينما تزيد نسبة الرمال به إلى ٩٨,٤%. وتتراوح أحجام الرواسب به بين الرمل الخشن والناعم، والرواسب رديئة التصنيف، وربما يرجع ذلك إلى الفعل التصنيفي للأمواج والتيارات البحرية والرياح.

بنية التراكم :

يتميز القطاع الساحلي الشمالي الغربي من شبه جزيرة قطر والذي يُمثل منطقة الدراسة بوجود ظاهرة التومبولو الذي يحاول الاتصال باليابس (Zenkovich, 1967)، وعلى ما يبدو أن التومبولو تشكل من خلال التفاعل بين الجزر القريبة من الشاطئ مع الأمواج السائدة بمنطقة الدراسة.

تقع الجزر بصفة عامة على مسافة أقل من ١٢٥ متر من خط الشاطئ. وعلى الرغم من سيادة نمط التومبولو البسيط بمنطقة الدراسة إلا أنه تم رصد التومبولو المزدوج إلى الشمال من رأس أبروق، والتومبولو الثلاثي عند مدخل دوحة فشياخ.

تقع بعض الشعاب المرجانية (الفشوت) التي تحمي الساحل الشمالي الغربي على مسافات بعيدة من الشاطئ. لا يتشكل التومبولو غالباً في مثل هذه المناطق البعيدة عن الشاطئ، وذلك نظراً للبيئة الطبيعة المتقطعة للعوائق البحرية والمساحة المتسعة بين الشعاب المرجانية والشاطئ. بينما يوجد على مقربة من الشاطئ، بعض الأطر والحواجز المرجانية، وبعض الشعاب المرجانية المغمورة بالماء جزئياً، وهذه الشعاب تؤثر في عملية ترسيب المواد الرسوبية. الشعاب غالباً ما تكون متقطعة وغير متصلة، وتسمح بالتداخل المعقد للتيارات المائية وأنماط الأمواج المختلفة التي تساعد في تشكيل التومبولو.

تتميز الشعاب المرجانية المنتشرة بمنطقة الدراسة بصفة عامة بقربها من الشاطئ، بينما تتميز الشعاب المرجانية في القطاع الممتد من رأس عشيرج حتى دوحة بن رحال بأنها أكثر استمراراً واتصالاً من الشعاب الموجودة في بقية أجزاء منطقة الدراسة، تتقطع الشعاب المرجانية بمنطقة الدراسة بواسطة القنوات المائية العميقة التي تساعد في اندفاع المياه إلى الخلجان والدوحات واللاجونات (البحيرات الضحلة) المنتشرة بالساحل مثل دوحة الزبارة، ودوحة بن رحال، ودوحة أم الماء وأسيود، ودوحة فشياخ، ودوحة الحصين، وخليج زكريت (شكل ٣). فعملية تبادل المياه بين البحر والخلجان والدوحات يساعد في تشكيل أشكال إرساب مختلفة ومنها التومبولو الذي يمتد في البحر بمسافات تتراوح بين ٢٨ و ١٢٥ متر.

رابعًا – تطور التومبولو :

يتم معرفة نمو وتطور التومبولو عن طريق حساب النسبة بين المسافة الممتدة من الشاطئ إلى الجزيرة وطول الجزيرة الشاطئية الممتدة أمامه. حيث توجد علاقة رياضية بين الشاطئ (J) وطول الجزيرة (I) فإذا كانت المسافة من الشاطئ إلى الجزيرة أقل بمقدار ١,٦ مرة من طول الجزيرة (I). فهذا يسمح بتكسر الأمواج حول الجزيرة، فتصبح الأمواج أقل قوة، وتنشأ الأمواج البناءة التي تتقابل عند

الجانب المحمي من الأمواج خلف الجزيرة، وتقوم الأمواج بترسيب الرواسب خلف الجزيرة في المنطقة المحصورة بين الجزيرة الشاطئية واليابس الرئيسي. وتنمو هذه الرواسب وتتطور خلف الجزيرة باتجاه اليابس لتشكل ظاهرة التومبولو التي تربط بين الجزيرة واليابس الرئيسي.

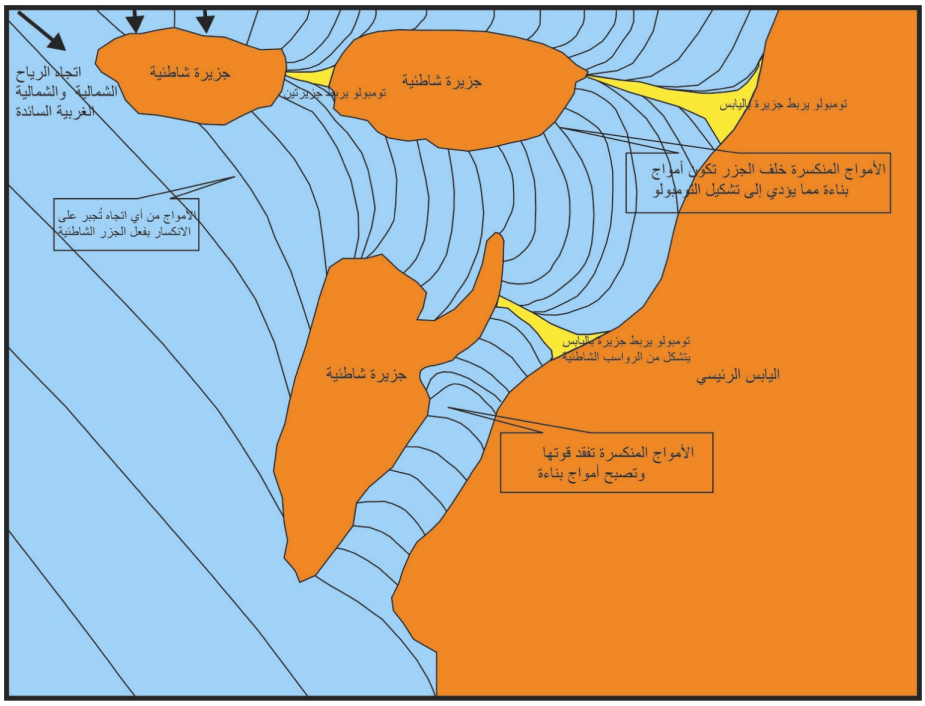
ولا يتشكل التومبولو إذا كانت المسافة بين الشاطئ والجزيرة أكبر من ١,٦. بل يتشكل لسان رملي بارز من خلف الجزيرة باتجاه اليابس نتيجة ترسب الرواسب في الجانب المحمي من الجزيرة. لذا فإن الجزيرة يجب أن تكون على مسافة حرجة من الشاطئ إذا أُريد لها أن تؤثر على شكل خط الشاطئ (Mark, 2010, p. 20). حيث لا يحدث تغييراً في خط الساحل إذا كانت المسافة بين الشاطئ والجزيرة أكبر بمقدار ١,٦ مرة من طول الجزيرة.

ويتضح من ما سبق أنه لابد من توفر بعض الشروط اللازمة لتشكيل التومبولو وتتمثل في: أن تكون المسافة من الجزيرة الشاطئية إلى الشاطئ أقل من طول الجزيرة بمقدار ١,٦ مرة، ويجب أن يتألف التومبولو من نفس الرواسب الرملية مثل بقية الشاطئ، وينبغي ألا تكون الأمواج عمودية على الجزيرة ولا تصل إليها مباشرة، بل تكون على شكل زاوية حادة أقل من ٩٠ درجة.

وتتوفر هذه الشروط في الساحل الشمالي الغربي من شبه جزيرة قطر، حيث تساعد هذه الظروف على تكسر الأمواج حول الجزر الشاطئية. ونظراً لقصر المسافة بين الجزر واليابس الرئيسي، فإن الأمواج تكون ضعيفة جداً في الجانب المحمي من الأمواج خلف الجزر. الأمر الذي يؤدي إلى ترسيب الرواسب في المنطقة الواقعة بين الجزر واليابس، أو في المنطقة الواقعة بين جزيرتين، وهكذا يتم تشكيل التومبولو الذي يربط بين الجزيرة واليابس الرئيسي، أو بين جزيرتين (شكل ٤).

ولا يتوقف تشكيل التومبولو على أهمية المسافة الشاطئية وطول الجزيرة فقط بل لاتجاه الأمواج بالنسبة للجزر الشاطئية في منطقة الدراسة أهمية كبيرة أيضاً في نشأة وتشكيل التومبولو. حيث اتضح من خلال الدراسة الميدانية لمواقع التومبولو بخليج زكريت ورأس أبروق أن التومبولو لا يتطور على مدار السنة، وأن التغير في اتجاه الأمواج وحجم الأمواج في الصيف يُساعد في تطور التومبولو المؤقت حيث يظهر كاملاً لبعض الوقت ثم سرعان ما تختفي أجزاء منه أسفل الماء.

وقد يرجع ظهور التومبولو المؤقت في الصيف في منطقة الدراسة إلى الانخفاض في ارتفاع الأمواج وهذا يعني أن الأمواج يُمكن أن تبدأ في ترسيب الرواسب. بالإضافة إلى التغيير في اتجاه الأمواج في نفس الوقت نحو الاتجاه الشمالي يؤدي إلى انكسار الأمواج على كلا الجانبين. حيث يتم ترسيب كميات ضخمة من الرمال، ثم يتم إزالتها بفعل العواصف في فصل الخريف، حيث تبدأ في دفع الأمواج القوية من خلال الفجوة الواقعة بين الجزيرة واليابس الرئيسي. لذا فإن ظاهرة التومبولو ليست ظاهرة بسيطة تتعلق بالمسافة الشاطئية من الشاطئ إلى الجزيرة الشاطئية فقط. بل تتشكل نتيجة تضافر مجموعة من العوامل المختلفة.



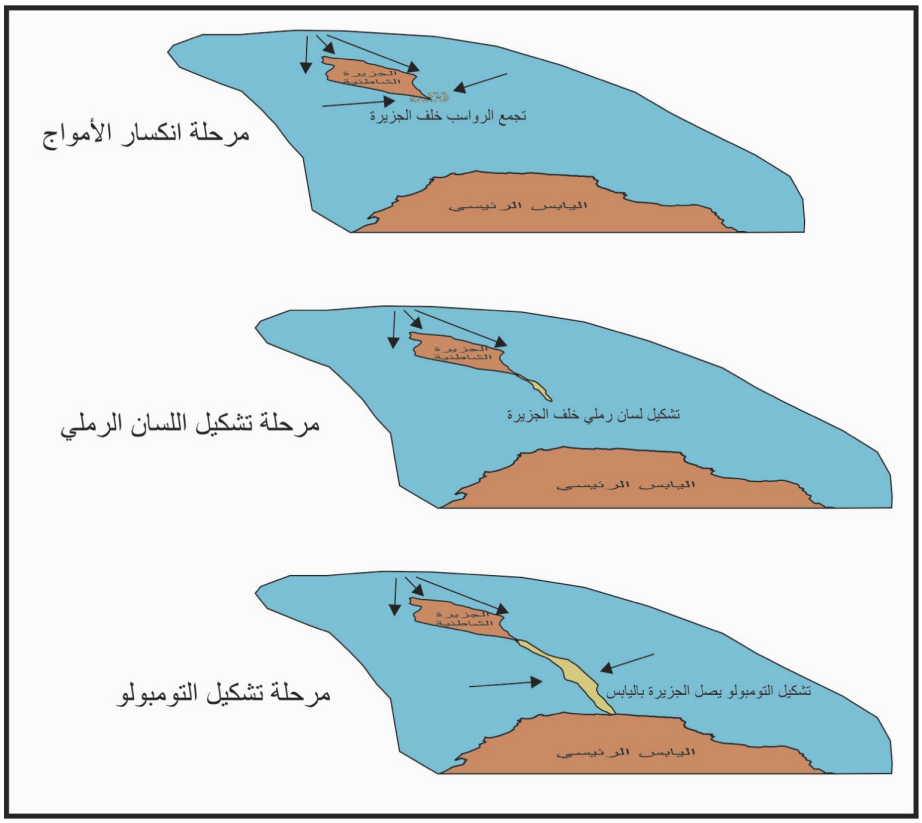
شكل (٤) : رسم توضيحي لتشكيل التومبولو.

After: Mark, 2010, p. 22.

مراحل تطور التومبولو :

يقترح الباحث مراحل لتطور التومبولو (شكل ٥) اعتماداً على الملاحظات الميدانية وصور الأقمار الصناعية، والبيانات المورفومترية التي تُدعم التسلسل التطوري لشكل التومبولو.

١- **مرحلة تكسر الأمواج حول الجزر** : تنتشر مجموعة من الجزر الشاطئية والشعاب المرجانية الممتدة أمام الرؤوس الأرضية والخلجان والدوحات المنتشرة بالساحل الشمالي الغربي من شبه جزيرة قطر. حيث تقف تلك الجزر كعوائق بحرية أمام هجوم الأمواج السائدة من الاتجاه الشمالي الغربي السائد. مما يؤدي إلى تكسر وانحراف الأمواج حيث تنحني قمة الموجة بسبب الالتفاف حول الجزيرة (العقبة البحرية) وتبلغ حدها الأدنى في الشواطئ التي تتميز بانحداراتها الهينة والخفيفة جداً، وبالتالي تأثير انكسار الأمواج وانحناء قمتها يكون أكثر ارتباطاً بطبوغرافية وتضاريس قاع البحر. ولا تظهر أي ملامح لظهور التومبولو في هذه المرحلة.



شكل (٥) : رسم توضيحى لمراحل تطور التومبولو.

المصدر: من إعداد الباحث.

٢- **مرحلة بروز اللسان الرملي** : تتعرض الأمواج الشمالية والشمالية الغربية السائدة للانكسار حول الجزر الشاطئية المنتشرة أمام الساحل، وتدخل الأمواج المنكسرة في المضايق الضحلة والضيقة الواقعة بين الجزر واليابس أو بين جزيرة وجزيرة أخرى بعد أن تفقد قوتها نتيجة انكسارها وتصبح أمواج بناءة تؤدي إلى تجميع وترسيب الرواسب خلف الجزر الشاطئية على شكل لسان رملي يبرز في نهاية الجزيرة في الجانب المحمي من الأمواج باتجاه اليابس أو باتجاه جزيرة أخرى قريبة.

٣- **مرحلة التومبولو** : تستمر عملية تجميع وترسيب الرواسب في المضايق الفاصلة بين الجزر الشاطئية واليابس، وحول اللسان الرملي الذي تشكل في المرحلة السابقة في ظل الأمواج خلف

الجزيرة الشاطئية في اتجاه اليابس. ومع استمرار عملية نقل وترسيب الرواسب من اتجاه الشمال الغربي يزداد اللسان الرملي طولاً باتجاه اليابس إلى أن يصل إلى اليابس ويتصل به تماماً بحيث يبدو الشكل الجديد على شكل جسر طبيعي يربط بين الجزيرة الشاطئية واليابس عبر منطقة المضايق الضيقة الفاصلة بين الجزيرة واليابس، ويكتمل تشكيل التومبولو. وبالتالي فإن ظاهرة التومبولو تتخذ اتجاه حركة الأمواج السائدة وحركة نقل وتجميع الرواسب السائدة بمنطقة الدراسة.

خامسًا – أنواع التومبولو بمنطقة الدراسة :

توجد عدة أنواع من التومبولو وتشمل الفردي، والمزدوج (الثنائي)، والمعقد أو المركب (الثلاثي)، وكلها تعكس النظام الساحلي (شكل ٣)، على سبيل المثال آليات وأنواع الأمواج. يتشكل التومبولو الفردي من حافة واحدة تمتد إلى اليابس الرئيسي، بينما يتشكل التومبولو المزدوج من حافتين تمتد إلى الشاطئ، والثلاثي من ثلاث حافات، وغالباً يتشكل في المناطق ذات النقل الموسمي للرواسب على طول الشاطئ. ويحد التومبولو من تدفق التيارات المائية بين البحر ومنطقة المد والجزر، وتشكيل لاجون ساحلي، وتغيير البيئة المحلية. ويُمكن تقسيم أنواع التومبولو الذي يميز الساحل الشمالي الغربي إلى الأنواع التالية:

- **النوع الأول من التومبولو يرمز له بالرمز** (A)، ويُمثل التومبولو الذي يربط الجزيرة الصخرية مع اليابس الرئيسي. يتغير اتجاه خط الساحل عادةً عند هذه النقطة وتُحاط الرأس الأرضية بالشواطئ الرملية الطويلة مثل التومبولو رقم (١) الممتد أمام رأس الزبارة، والتومبولو رقم (٣) الممتد أمام رأس أم حيش عند مدخل دوحة فشياخ.
- **النوع الثاني من التومبولو يرمز له بالرمز** (B)، حيث يتشكل التومبولو عندما توجد جزيرة صخرية شاطئية كبيرة الحجم بالقرب من الشاطئ الرملي. مثل التومبولو رقم (١٢) الذي يمتد أمام الساحل الشرقي من المدخل الجنوبي لخليج زكريت. وفي هذه الحالة يتطلب لتشكيل التومبولو كمية صغيرة من المواد الرسوبية لربط الجزيرة مع اليابس الرئيسي. يقع عادةً مثل هذا النوع من التومبولو داخل بيئة الشاطئ الرملي، ويزيد طوله عادة عن ١٠٠ متر.
- **النوع الثالث** (C) **وهو التومبولو الذي يُشبه كثيراً تومبولو النوع الثاني** (B) **ولكن يكون أصغر حجماً**، مثل التومبولو رقم (٩) الذي يربط جزيرتين قريبتين من بعضها البعض أمام الساحل الجنوبي الغربي لرأس أبروق. ويشيع وجود النوعين (B,C) من التومبولو بمنطقة الدراسة نظراً لتكرار وقوع الجزر الصغيرة بالقرب من الشاطئ (شكل ٣) (الصور ١–١٢).

- **النوع الرابع** (D)، ويُمثل التومبولو المركب ويتكون من اثنين أو ثلاثة ألسنة رملية تربط الجزر باليابس. حيث تتراكم الرواسب بين الجزر الشاطئية لتشكيل تومبولو يربط جزيرة إلى جزيرة أخرى وتومبولو ثان يصل تلك الجزيرتين باليابس الرئيسي، مثل التومبولو الثلاثي رقم (٤، ٥، ٦) الممتد أمام رأس أم حيش عند مدخل دوحة فشياخ، والتومبولو المزدوج رقم (٧، ٨) حيث يربط التومبولو الأول رقم (٧) بين جزيرتين بينما يربط التومبولو الثاني رقم (٨) الجزيرتين باليابس الرئيسي (رأس أبروق). وتتميز هذه المناطق بوجود الجزر الصخرية الشاطئية مع عدد قليل من الشواطئ الرملية أو تراكمات الرواسب التي توجد على اليابس المجاور لشاطئ البحر.

وتسمح الحماية التي توفرها الشعاب المرجانية المتقطعة إلى بعض أجزاء الساحل الشمالي الغربي بالتفاعل المعقد بين الأمواج الضخمة، وأمواج الرياح، والتيارات البحرية على طول الشاطئ الأمر الذي يتسبب في جعل الرواسب تميل إلى الإرساب في المناطق الواقعة خلف الشعاب المرجانية. ويؤدي تفاوت الأعماق الشاطئية القريبة من الشاطئ إلى أنماط الانتشار المعقدة للشعاب المرجانية. لذا فإن النوع (E) من التومبولو يتشكل خلف صخور الشعاب المرجانية البارزة والمغمورة جزيئاً بالماء. وتسمح طبيعة الشعاب المرجانية المثقبة لطاقة الأمواج بعبور الشعاب المرجانية وترسب الرمال والحصى خلف الشعاب. مثل التومبولو الرملي الصخري رقم (٢) الواقع إلى الجنوب من رأس عشيرج الذي تكون خلف الشعاب المرجانية، والتومبولو المزدوج رقم (١٠، ١١) الذي تشكل أمام الساحل الشمالي الشرقي لخليج زكريت. حيث أدي التومبولو المزدوج إلى تشكيل لاجون ساحلي وغالباً ما يُغلق اللاجون بواسطة التومبولو المزدوج نتيجة دورة حركة المياه الداخلة والخارجة من اللاجون الساحلي مما يزيد من انتشار وتراكم الرواسب على جانبي اللاجون.

وتُعد عملية انكسار وانحراف الأمواج من خلال الفواصل المتقطعة في الشعاب المرجانية مهمة جداً، حيث تُساهم المياه المندفعة عبر الشعاب المرجانية عن طريق عمليات المد والجزر والأمواج بشكل كبير في دورة حركة المياه داخل وخارج اللاجونات ومن ثم تساعد على انتشار الرواسب داخل اللاجونات الساحلية المسطحة. خاصة أن الأمواج تقوم بدفع المياه لنقل الرواسب على طول الشاطئ، ومع حركة المياه داخل وخارج فواصل الشعاب المرجانية. يتم تجميع الرواسب لتشكيل التومبولو (Hearn, et al., 1986).

سادساً – الأبعاد المورفومترية للتومبولو :

استخدم الباحث المعادلة الرياضية التي أستخدمها (Zenkovich, 1967, p. 738) لتصنيف التومبولو. وتركز هذه المعادلة على العلاقة بين أبعاد الجزيرة أو الشعاب المرجانية التي تُعد بمثابة العقبات البحرية الشاطئية وحجم ونوع التومبولو الذي تشكل في الجانب المحمي من الأمواج خلف العقبات الشاطئية. وتشمل المعادلة: آلية النمو، ومقدار حركة وتنقل التومبولو، والنشاط/العمليات الحالية، والعمليات الرئيسية التي تشارك في إمداد التومبولو بالرواسب، ومصادر إمداد التومبولو بالرواسب، وشروط ونظام الأمواج، ومرحلة التطور. وقد أُستخدم العديد من الخطوات لتقييم الفرق الجغرافي في حدوث أشكال التومبولو مثل الصور الجوية وصور الأقمار الصناعية من جوجل إرث لتحديد مواقع التومبولو وقياس الأبعاد الكلية للتومبولو (جدول ٢ وشكل ٦).

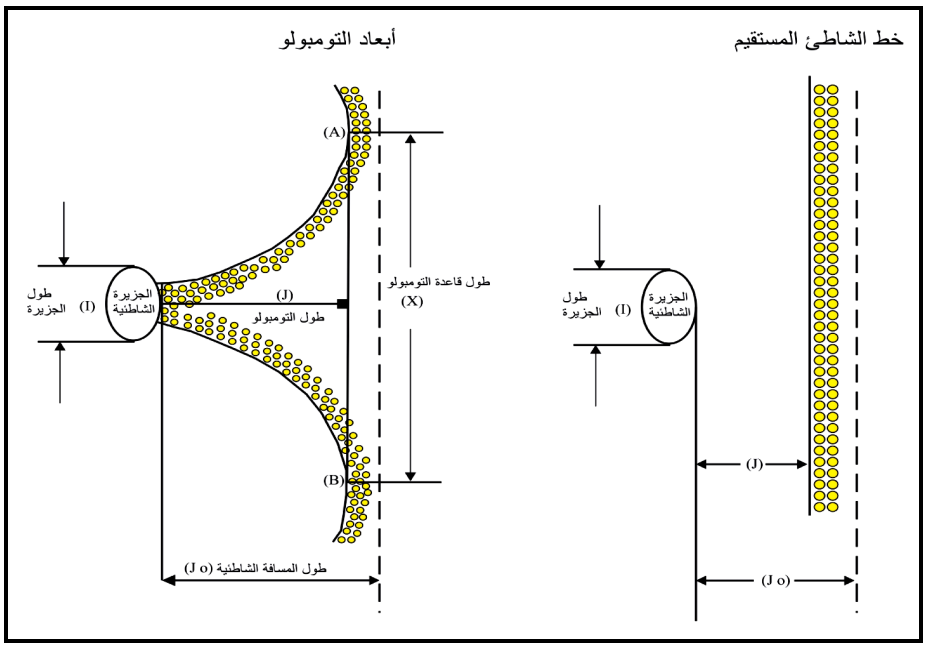
من خلال الدراسات الميدانية يُمكن وصف عمليات انحراف وانكسار الأمواج. حيث تؤدي هذه العملية إلى زيادة الفرق في ارتفاع الموجة على طول الشاطئ في الجانب المحمي من الجزيرة. هذا الفرق يدفع التيارات المائية من الاتجاهات المختلفة للتقارب والالتقاء والتجمع على طول الشاطئ، مما يؤدي إلى تشكيل مسننات رملية تمتد في شكل ألسنة رملية تمتد من خلف الجزيرة باتجاه اليابس الرئيسي أو من خلف الجزيرة باتجاه جزيرة أخري، ومع مرور الزمن وزيادة عملية الترسيب ينمو اللسان الرملي ويبدأ بالتحليق للوصول إلى اليابس حتي يصل في النهاية إلى اليابس بحيث يربط الجزيرة الشاطئية باليابس الرئيسي وحينئذ يكون قد تشكل التومبولو بمعناه الحقيقي في الجانب المحمي من بنية الشاطئ البعيد.

ويتضح من جدول (٢) وشكل (٦) أن (I) تُمثل طول الجزيرة، و(X) تُمثل طول قاعدة التومبولو المتصلة باليابس الرئيسي، و(J) تُمثل طول التومبولو (طول المسافة الشاطئية إلى الجزيرة وتعمق التومبولو في الماء إلى أن يتصل بالجزيرة)، ويتم قياس المسافة الشاطئية (J) من خلال الخط العمودي الواصل من الجزيرة الشاطئية على الخط (A B) (قاعدة التومبولو).

يتشكل التومبولو إذا كانت نسبة (J/I) أصغر من ١,٥ (J/I < ١,٥)، ولا يظهر أي تأثير للجزيرة إذا كانت نسبة (J/I) أكبر من ٣,٥ (J/I > 3.5). ويتضح هذا عندما يتم رسم العلاقة (J/X) أو (X/I) مع العلاقة (J/I). ويتضح أن تلك المتغيرات التي تُمثل طول الجزيرة (I) ومسافتها الشاطئية البحرية التابعة لها (J) تُشكل علاقة رياضية مهمة ذات دلالة إحصائية بين المتغيرات، وأي متغيرات أخرى ليس لها أهمية تذكر بتشكيل التومبولو خلف كاسر الأمواج (الجزيرة الشاطئية). وتتفق المتغيرات في الدراسة الحالية مع المتغيرات التي ذكرها كل من Hsu and Silvester (1990).

جدول (٢) : أبعاد التومبولو والجزر المنتشرة بالساحل الشمالي الغربي من شبه جزيرة قطر.

رقم التومبولو	الموقع	مساحة الجزيرة (متر٢)	نوع التومبولو (النمط)	المسافة الشاطئية من الجزيرة إلى اليابس (متر) (J)	طول الجزيرة (متر) (I)	المسافة الشاطئية / طول الجزيرة (J/I)	عرض قاعدة التومبولو المتصلة باليابس (متر) (X)	اتجاه التومبولو	متوسط عرض التومبولو (متر) (W)	متوسط عرض الجزيرة (متر)
١	شمال الزبارة	١٦١,٤	بسيط رملي	٩٢,٥	٥٨,٥	١,٥٨	٢٥	جنوب شرق	٢,١	١١,٨
٢	جنوب رأس عشيرج	٧٩٧	بسيط صخري	٨٨	٥٦	١,٥٧	٤٩	جنوب غرب	٥,٨	٢٥,٧
٣	مدخل دوحة فشياخ	٢٠٠٠	بسيط صخري	٨٠	٧٦	١,١	٢٤,٣	جنوب غرب	٦	٢٤
٤	مدخل دوحة فشياخ	١٢٠٠	ثلاثي رملي	٦٥	٨٠	٠,٨	١٥	جنوب شرق	٣	١٦,٣
٥	مدخل دوحة فشياخ	١٣١,٧٠٠	ثلاثي رملي	٨٦	٩٨٠	٠,١	٢,٢	جنوب شرق	٦,٣	١١٢
٦	مدخل دوحة فشياخ	٢٠٥	ثلاثي رملي	٦٠	٤٠	١,٥	٤	جنوب شرق	٣,٧	٤,٢
٧	شمال غرب رأس أبروق	١٨,٨٠٠	ثنائي رملي صخري	٤١	١٥٠	٠,٢٧	١٠	جنوب غرب	٨,٣	٧٧
٨	شمال غرب رأس أبروق	٤٣٠٠٠	ثنائي رملي صخري	١٢٤,٥	٢٧٨	٠,٤٥	٥١	جنوب غرب	١٠	١٧٢
٩	جنوب غرب رأس أبروق	٧٦٢	بسيط رملي	٢٨	٥١,٥	٠,٥٤	١٨	جنوب شرق	١٢,٣	١٤,٣
١٠	شمال شرق خليج زكريت	١٠٠٠٠	بسيط رملي	١٠٠	١٩٦	٠,٥١	٥,٥	جنوب شرق	٤	٤٥
١١	شمال شرق خليج زكريت	١٠٠٠٠	بسيط رملي	١١٩	١٩٦	٠,٦١	٤٦	جنوب شرق	١٧,٣	٤٥
١٢	جنوب شرق خليج زكريت	٦٧٠٠	بسيط رملي	١٦٨	١٧٨	٠,٩٤	٥	جنوب شرق	٦	٣٩



شكل (٦) : الأبعاد المورفومترية للتومبولو خلف الجزيرة الشاطئية (العقبة البحرية).
After: Peta G. Sanderson and Ian Eliot, 1996, p. 765.

تشمل أبعاد التومبولو بعض الخصائص المورفومترية مثل طول شاطئ الجزيرة الشاطئية أو العقبة البحرية، عرض قاعدة التومبولو المتصلة باليابس؛ المسافة البارزة المتعمقة في البحر للتومبولو؛ والمسافة البحرية الشاطئية من الجزيرة أو الشعاب المرجانية إلى اليابس الرئيسي. تم تحليل الخصائص الشكلية للتومبولو كأحد أشكال التراكم والإرساب البحري، وذلك باستخدام قياس الأبعاد والرسوم البيانية مماثلة لتلك التي وصفها كل من Sunamura and Misuzo (1987) و Silvester and Hsu (1993).

يقارن شكل (٧) نسبة طول التومبولو البارز المتعمق في البحر إلى طول قاعدة التومبولو المتصلة باليابس (J/X) مع حساب نسبة المسافة البحرية الشاطئية إلى عرض الجزيرة (J/I). وحساب (X/I) مع (J/I) (أي حساب نسبة عرض التومبولو إلى طول الجزيرة مع حساب نسبة المسافة البحرية الشاطئية إلى طول الجزيرة). تصف نسب الأبعاد المورفومترية في منطقة الدراسة العلاقة بين شكل التومبولو الذي يُمثل التراكم الساحلي مع الجزيرة الشاطئية، ثم تم المقارنة باستخدام تحليل التباين. وقد تم ذلك لتحديد الاختلافات بين التومبولو في منطقة الدراسة.

تتراكم الرواسب في الجانب المحمي من الجزيرة أو الشعاب المرجانية في المقام الأول نتيجة لعمليات انكسار الأمواج، وثانياً رداً على حركة الرواسب بواسطة التيارات القريبة من الشواطئ. وتؤكد الدراسة الحالية على أهمية طول الجزيرة الشاطئية التي تمتد بموازاة الشاطئ ومسافتها الشاطئية البحرية كمتغيرات أساسية تؤثر على قاعدة التومبولو الإرسابية المتصلة باليابس والمسافة البارزة من خط الشاطئ الأصلي (طول التومبولو البارز من اليابس والمتعمق في مياه البحر حتى الجزيرة الشاطئية). حيث يُمكن تمييز وتحديد شكل التومبولو على أساس النسبة بين طول الجزيرة الشاطئية أو الشعاب المرجانية ومسافتها الشاطئية البحرية.

يتضح من خلال الملاحظات في منطقة الدراسة، أن كل نسب (J/I) تكون أقل من (١,٦)، التي تكون قريبة من نسبة (١,٥) التي أشار إليها كل من Sunamura and Misuzo (1987). تؤكد الدراسة الحالية على أن أفضل ثلاثة متغيرات للقياسات الهندسية لتحديد موقع التومبولو هي طول الجزيرة (I)، والمسافة الشاطئية من الجزيرة إلى اليابس (J)، وعرض قاعدة التومبولو المتصلة باليابس (X)، وهي أفضل متغيرات لتحديد شكل التومبولو. انتشار البيانات على الرسوم البيانية على ما يبدو يكون على نطاق واسع.

سابعًا – التحليل المورفولوجي للتومبولو :

تم تسجيل ١٢ تومبولو واضح المعالم بمنطقة الدراسة، وكلها ترتبط بالجزر في منطقة الدراسة، ويرجع السبب في ذلك إلى انتشار الجزر الصخرية التي تتألف من الحصى والرمال والرواسب المتجمعة الأخرى في هذه المنطقة.

يبلغ أقل طول للتومبولو في منطقة الدراسة ٢٨ متر، ويتمثل في التومبولو رقم (٩) الذي يربط بين جزيرتين صغيرتين أمام الساحل الجنوبي الغربي لرأس أبروق، ويبلغ أقصى طول للتومبولو ١٦٨ متر ويتمثل في التومبولو الذي يربط الجزيرة الشاطئية بالساحل الجنوبي الشرقي لخليج زكريت. ويتراوح متوسط عرض التومبولو بين ٢,١ متر ويمثله التومبولو رقم (١) الذي يربط الجزيرة الشاطئية باليابس الواقع إلى شمال الزبارة، و١٧,٣ متر ويمثله التومبولو رقم (١١) الذي يربط الجزيرة الشاطئية باليابس على الساحل الشمالي الشرقي لخليج زكريت.

يقع التومبولو رقم (١) عند تقاطع دائرة عرض ١٨,٣٠ً ٥٩ً ٢٥° شمالاً مع خط طول ٢٨,٧٨ً ١ً ٥١° شرقاً إلى الشمال من مدينة الزبارة الأثرية بحوالي واحد كيلو متر. يصل التومبولو الجزيرة الشاطئية الصغيرة الممتدة إلى الشمال الغربي من رأس الزبارة باليابس الرئيسي، وتبلغ مساحة الجزيرة حوالي ١٦١,٤ متر^{٢}. يبلغ طول التومبولو حوالي ٩٢,٥ متر ومتوسط عرضه حوالي ٢,١ متر. التومبولو من النوع الفردي البسيط وينتمي للنوع (A) (صورة ١).

تتميز المنطقة الساحلية المحيطة برأس الزبارة خاصة الجزء الجنوبي الغربي، والشمالي الغربي بانتشار العديد من الجزر الشاطئية مختلفة الأحجام والقريبة من الساحل، وانتشار بعض الشعاب المرجانية المغمورة تحت الماء جزئيًا، وضحالة المياه بسبب زيادة سُمك الرواسب الرملية التي تغطي القاع. وقد يرجع السبب في زيادة الإرسابات الرملية بتلك المنطقة إلى الاتجاه العمودي للساحل الشرقي والشمالي الشرقي لدوحة الزبارة على حركة مياه البحر الداخلة إلى دوحة الزبارة. حيث تُمثل رأس الزبارة في نفس الوقت الساحل الشرقي والشمالي الشرقي لدوحة الزبارة التي تنحصر بين رأس الزبارة في الشمال الشرقي ورأس عشيرج في الجنوب الغربي. يتألف التومبولو من الرمال، ويأخذ اتجاها شماليًا غربيًا – جنوبيًا شرقيًا. تشكل التومبولو بفعل انكسار الأمواج حول إحدى الجزر الشاطئية الممتدة أمام الساحل في المنطقة المنخفضة المحمية من الأمواج. ويتفق اتجاه التومبولو مع اتجاه خطوط الترسيب التي تتخذ نفس اتجاه حركة المياه في هذه المنطقة من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي.

يلاحظ من خلال تتبع صور الأقمار الصناعية من جوجل إرث لسنوات مختلفة زيادة ضخمة في عملية الترسيب بهذه المنطقة بالإضافة إلى زيادة عدد الجزر والشعاب المرجانية المنتشرة بالمنطقة، لذا يتوقع مستقبلاً أن يزداد ظهور التومبولو في تلك المنطقة. والدليل على ذلك وجود لسان رملي يمتد خلف إحدى الجزر الشاطئية التي لا تبعد عن رأس الزبارة بمسافة ١,٣ كم إلى الشمال الغربي منها، ويبلغ طول اللسان الرملي حوالي ٣٢٥ متر، ويأخذ اتجاه شمالي غربي – جنوبي شرقي باتجاه رأس الزبارة ويقترب اللسان الرملي من اليابس الرئيسي والذي يُعد المرحلة الثانية من تشكيل التومبولو وهي مرحلة تشكيل اللسان الرملي، ومع مرور الزمن وزيادة الترسيب في المنطقة الشاطئية قد يتطور اللسان الرملي ويصبح تومبولو كامل يربط الجزيرة باليابس الرئيسي. كما تظهر بوادر تشكيل أكثر من تومبولو إلى الجنوب الغربي من رأس الزبارة خاصة وأن عملية الترسيب ضخمة جداً في تلك المنطقة وتنتشر الرواسب خلف الشعاب المرجانية التي تمثل عقبات صخرية تتكسر حولها الأمواج السائدة.

يقع التومبولو رقم (٢) عند تقاطع دائرة عرض ١٨,٣٣ً ٥٦َ ٢٥° شمالاً مع خط طول ٣٦,٢٩ً ٥٩َ ٥٠° شرقاً إلى الجنوب من رأس عشيرج بحوالي ١,٥ كم. ويبلغ طوله حوالي ٨٨ متر ومتوسط عرضه حوالي ٥,٨ متر. ويصل التومبولو الحاجز المرجاني الممتد أمام الساحل باليابس الرئيسي.

يتألف التومبولو من الحصى والصخور المشتقة من الحاجز المرجاني. بمعنى أن التومبولو تشكل من الرواسب الموضوعية النشأة، ولم يتكون من رواسب الشاطئ المنجرفة، ولقد تم إعادة

تشكيله بواسطة فعل وحركة الأمواج. تتميز المنطقة التي يوجد فيها التومبولو بأنها مغلقة تماماً بواسطة الحاجز الجيري المرجاني، وتتألف من الحصى الكبير والجلاميد الصخرية المرجانية. وتشكل التومبولو في ظل الأمواج خلف الشعاب المرجانية القريبة من الساحل؛ حيث كان هناك إمكانية تأثير لجلب وتجميع الرواسب الكبيرة فقط من اتجاه الشمال. وتبدو جوانب التومبولو على شكل حافات شاطئية بارزة على امتداد طوله. ويأخذ التومبولو اتجاه شمالي شرقي – جنوبي غربي عمودي على اتجاه حركة نقل الرواسب. وقد تم حفر حفرة صغيرة في جسم التومبولو بعمق ١٥ سم فظهر من خلالها طبقات الرمل والحصى، ويشكل الرمل الأساس الذي تراكمت عليه رواسب التومبولو (صورة ٢).

يقع التومبولو رقم (٣) عند تقاطع دائرة عرض ٤٥,٢٧ً ٣٦ً ٢٥° شمالاً مع خط طول ٣٢,٤٤ً ٥٦ً ٥٠° شرقاً. ويقع في مدخل دوحة فشياخ، ويربط التومبولو الجزيرة الشاطئية بالبروز الصخري المتعمق في البحر من رأس الحُسين، وتبلغ مساحة الجزيرة حوالي ٢٠٠٠ متر٢. يبلغ طول التومبولو نحو ٨٠ م ومتوسط عرضه ٦ أمتار، التومبولو من النوع الفردي البسيط وينتمي للنوع (A) (صورة ٣).

يتألف التومبولو من الرمل والحصى، وقد يرجع تكون التومبولو إلى الحجم الصغير للجزيرة التي تكون خلفها وشكلها البيضاوي، فمن المُحتمل أن الأمواج الشمالية الغربية تتكسر حول جانبي الجزيرة لنقل الرمال والحصى لنمو التومبولو. ويأخذ التومبولو الاتجاه الشمالي الشرقي – الجنوبي الغربي، وقد يرجع السبب في ذلك إلى حركة المياه التي تدخل دوحة فشياخ من دوحة الحصين وتتحرك من الشرق إلى الغرب مكونة التومبولو أثناء ترسيب حمولتها (نبيل امبابي، ١٩٨٤، ص ٢٨).

تم تسجيل ظاهرة التومبولو المعقد الثلاثي عند مدخل دوحة فشياخ وتحمل الأرقام (٤، ٥، ٦). ويتميز مدخل دوحة فشياح بانتشار الجزر الشاطئية في شكل أشبه بالأرخبيل. وتنتشر ظاهرة التومبولو الثلاثي خلف الجزر الممتدة أمام رأس الحُسين التي تُمثل الحد الغربي لدوحة فشياخ. ويوجد ثلاثة من التومبولو تربط بين ثلاثة جزر وتحاول جميعها الاتصال برأس الحُسين، لذا لابد من تشكيل تومبولو رابع في المستقبل لربط الجزر الثلاث بالياس الرئيسي (صورة ٤، ٥).

يقع التومبولو رقم (٤) عند تقاطع دائرة عرض ١٦,٤٨ً ٣٧ً ٢٥° شمالاً مع خط طول ١١,٣١ً ٥٥ً ٥٠° شرقاً، وهو يُمثل التومبولو الأول من التومبولو الثلاثي المعقد، ويقع في بدايته الشمالية ويربط بين جزيرتين صخريتين، وتبلغ مساحة الجزيرة الأولى الشمالية الصغيرة ١٢٠٠ متر٢، وتبلغ مساحة الجزيرة الثانية الوسطى الكبيرة التي تقع إلى الجنوب منها حوالي ١٣١,٧٠٠ متر٢ وهي تُمثل أكبر الجزر حجماً في منطقة الدراسة. ويبلغ طول التومبولو حوالي

٨٠ متر ومتوسط عرضه حوالي ٦ أمتار. يقع التومبولو رقم (٥) عند تقاطع دائرة عرض ٥٢,٢٤ً ٣٦َ ٢٥° شمالاً مع خط طول ٣٦,٥٨ً ٥٥َ ٥٠° شرقاً، وهو يُمثل التومبولو الثاني الأوسط الذي يربط بين الجزيرة الصخرية الوسطى كبيرة الحجم سابقة الذكر والجزيرة الرملية الثالثة التي تقع إلى الجنوب منها مباشرة، وتبلغ مساحتها حوالي ٢٠٥ متر٢، وتبدو الجزيرة على شكل إصبع الموز Banana. ويبلغ طول التومبولو حوالي ٨٦ متر ومتوسط عرضه حوالي ٦,٣ متر. يقع التومبولو رقم (٦) عند تقاطع دائرة عرض ٥٠,٧٥ً ٣٦َ ٢٥° شمالاً مع خط طول ٣٩,٧٤ً ٥٥َ ٥٠° شرقاً، وهو يُمثل التومبولو الثالث الجنوبي الذي يربط بين الجزيرة الرملية الصغيرة سابقة الذكر وجزيرة رملية أخرى أصغر حجماً وتبلغ مساحتها حوالي ١٥٠ متر٢ وتقع إلى الجنوب مباشرة من الجزيرة الرملية الشمالية. ويبلغ طول التومبولو حوالي ٦٠ متر ومتوسط عرضه حوالي ٣,٧ متر. ولا يزال التومبولو الثالث يتعرض لغسل وتلاطم الأمواج والغمر بالمياه. ويلاحظ بداية تكون لسان رملي خلف الجزيرة الثالثة، ويمتد باتجاه اليابس ليربط الجزر الثلاث باليابس الرئيسي. وقد يحدث ذلك مستقبلاً مع مرور الزمن عندما يكتمل نمو اللسان ويصبح تومبولو كامل خاصة وأن عمليات الترسيب كبيرة جداً في تلك المنطقة، بالإضافة إلى أن المسافة قصيرة بين الجزيرة ورأس أبو الحُسين حوالي ١٧٥ متر فقط إلى جانب ضحالة المياه.

يسود في منطقة التومبولو الثلاثي المعقد نظام الأمواج وحركة نقل الرواسب الشمالية الغربية، وقد يرجع سبب تكون التومبولو الثلاثي المعقد إلى انكسار الأمواج حول الجزر الثلاثة، ويتم نقل الرواسب خلف الجزر بفعل نظام حركة الأمواج السائدة لتشكيل التومبولو بنفس طريقة تشكيل التومبولو في كل المواقع التي تم ذكرها في الدراسة الحالية. ويتألف التومبولو المعقد الثلاثي من الرمال، وينتمي التومبولو الثلاثي لنوع التومبولو (D). ويتفق اتجاه التومبولو الثلاثي مع اتجاه حركة الأمواج السائدة وحركة نقل الرواسب من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي.

وقد تم تسجيل ثلاثة من التومبولو حول سواحل رأس أبروق وتحمل الأرقام (٧، ٨، ٩). وتتميز شبه جزيرة أبروق بكثرة الجزر الشاطئية الصخرية المقتطعة منها بفعل الأمواج وعمليات التعرية البحرية الأخرى. وتنتشر ظاهرة التومبولو البسيط الفردي والمركب (الثنائي) خلف الجزر الممتدة أمام سواحل رأس أبروق. ويتميز التومبولو المنتشر أمام سواحل رأس أبروق بصفة عامة بزيادة اتساعه على طوله مقارنة بنسب طول واتساع التومبولو الأخرى المنتشرة بمنطقة الدراسة. وقد يرجع السبب في ذلك إلى كميات الترسيب الضخمة في المضايق الضيقة التي تفصل بين الجزيرتين واليابس الرئيسي (صورة ٦، ٧).

يقع التومبولو رقم (٧) عند تقاطع دائرة عرض ١٤,٣٢ً ٣٧َ ٢٥° شمالاً مع خط طول ٥٩,١٥ً ٤٨َ ٥٠° شرقاً، ويقع التومبولو رقم (٨) عند تقاطع دائرة عرض ٥,٦٦ً ٣٧َ ٢٥ْ شمالاً مع خط طول ٥٥,٦١ً ٤٨َ ٥٠° شرقاً. ويشكل التومبولو رقم (٧) مع التومبولو رقم (٨) نوعاً مركباً وهو التومبولو الثنائي. حيث يربط التومبولو رقم (٧) الذي يتخذ اتجاهًا جنوبيًا غربيًا، ويبلغ طوله ٤١ متر، ومتوسط عرضه ٨,٣ متر إحدى الجزر الصخرية الشاطئية، وهي جزيرة صغيرة الحجم تبلغ مساحتها حوالي ١٨,٨٠٠ متر٢ وتمتد إلى الشمال من رأس أبروق مباشرة بجزيرة شاطئية أخرى أكبر حجماً التي تقع إلى الجنوب منها مباشرة، وتبلغ مساحتها حوالي ٤٣٠٠٠ متر٢. بينما يربط التومبولو رقم (٨) الذي يتخذ اتجاهًا جنوبيًا غربيًا أيضًا، ويبلغ طوله ١٢٤,٥ متر، ومتوسط عرضه ١٠ متر الجزيرة الشاطئية الكبيرة الحجم برأس أبروق، وبهذا تم ربط الجزيرتين باليابس الرئيسي. وقد يرجع سبب تكون هذا التومبولو المركب الثنائي إلى انكسار الأمواج حول الجزيرتين الشاطئيتين الأمر الذي أدى إلى ترسيب كميات ضخمة من الرمال والحصى خلف الجزيرتين، وتجميع الرواسب بفعل حركة المد والجزر الداخلة والخارجة عبر المضايق الضحلة الضيقة الفاصلة بين الجزيرتين من جهة، وبين الجزيرتين واليابس الرئيسي من جهة أخرى. ويُمثل التومبولو رقم (٧) جسرًا طبيعيًا فوق المضيق الذي لا يزيد اتساعه عن ٤٠ متر والذي يفصل بين الجزيرتين، وجسرًا طبيعيًا أخر فوق المضيق الذي يفصل بين الجزيرتين واليابس الرئيسي والذي لا يزيد اتساعه عن ٩٨ متر.

ويتألف التومبولو المركب الثنائي رقم (٧، ٨) من أساس صخري تغطي سطحه رواسب رملية ناعمة، وتندمج الرمال مع الصخر مما جعل جسم التومبولو يكون أكثر تماسكاً وأكثر صلابة ويبدو على هيئة جسر طبيعي يربط الجزيرتين في منطقة المضيق المائي الضحل الضيق الذي يفصل بين الجزيرتين. وينتمي التومبولو المركب الثنائي لنوع التومبولو (D).

يقع التومبولو رقم (٩) عند تقاطع دائرة عرض ١٤,٢٥ً ٣٢َ ٢٥ْ شمالاً مع خط طول ٥,٥٤ً ٤٩َ ٥٠ْ شرقاً. يربط التومبولو بين شطري جزيرتين صغيرتين أمام الساحل الجنوب الغربي لشبه جزيرة أبروق، وتبلغ مساحة الجزيرة الشمالية حوالي ٧٦٢ م٢، ومساحة الجزيرة الجنوبية حوالي ٣٧٠ متر٢. وهو عبارة عن تومبولو رملي صغير فردي، وينتمي للنوع (B) الذي يتميز بقصر المسافة الواقعة بين الجزيرتين مع زيادة كمية ترسيب الرواسب في المنطقة الفاصلة بينهما، ويبلغ طوله حوالي ٢٨ متر فقط وهو يُمثل أقصر تومبولو بمنطقة الدراسة، ومتوسط عرضه ١٢,٣ متر. وتنمو بعض النباتات الطبيعية فوق سطح التومبولو. ويتفق اتجاه التومبولو مع اتجاه الأمواج السائدة شمالي غربي – جنوبي شرقي (صورة ٧).

تم تسجيل ثلاثة من التومبولو بخليج زكريت، التومبولو رقم (١٠، ١١) على الساحل الشمالي الشرقي لخليج زكريت، والتومبولو رقم (١٢) على الساحل الجنوبي الشرقي لخليج زكريت. يقع التومبولو رقم (١٠) عند تقاطع دائرة عرض ٤٦,٢٧ً ٣١َ ٢٥° شمالاً مع خط طول ٤,٨٩ً ٤٩َ ٥٠° شرقاً، والتومبولو رقم (١١) يقع عند تقاطع دائرة عرض ٤٣,٧٦ً ٣١َ ٢٥° شمالاً مع خط طول ٤,٧٠ً ٤٩َ ٥٠° شرقاً، ويقع التومبولو رقم (١٢) عند تقاطع دائرة عرض ١١,٨٣ً ٢٩َ ٢٥° شمالاً مع خط طول ٧,٢٢ً ٥٠َ ٥٠° شرقاً (صور ٨، ٩، ١٠، ١١، ١٢).

تنتشر بعض الفشوت، والجزر الشاطئية بخليج زكريت، وبعض الشعاب المرجانية تكون مغمورة جزئيًا تحت الماء. ويعزى تشكيل التومبولو بخليج زكريت إلى أن الرياح الشمالية تدفع مياه البحر المحملة بالرواسب باتجاه الجنوب داخل خليج زكريت، وتتكسر الأمواج حول الجزر الشاطئية والشعاب المرجانية القريبة من خط الشاطئ مما يُضعف من حركة المياه وتصبح الأمواج بناءة تميل للإرساب في الجانب المحمي من الجزر في المضايق الضحلة الفاصلة بين الجُزر واليابس على الساحل الشرقي، بالإضافة إلى أن حركة المياه تتخذ دورة غربية – شرقية ثم تخرج من خليج زكريت باتجاه الشمال (نبيل امبابي، ١٩٨٤، ص ١٠)، الأمر الذي يُفسر تشكيل التومبولو على الساحل الشرقي لخليج زكريت.

يتميز التومبولو المنتشر بخليج زكريت بزيادة طوله مقارنة بأطوال التومبولو الأخرى المنتشرة بالساحل الشمالي الغربي من شبه جزيرة قطر. يبلغ طول التومبولو رقم (١٠) ١٠٠ متر، ومتوسط عرضه ٤ متر، ويبلغ طول التومبولو رقم (١١) ١١٩ متر، ومتوسط عرضه ١٧,٣ متر، بينما يبلغ طول التومبولو رقم (١٢) ١٦٨ متر، ومتوسط عرضه ٦ متر. ويتفق اتجاه التومبولو مع اتجاه الرياح والأمواج السائدة وهو الشمال الغربي – الجنوب الشرقي.

تتوفر بمنطقة الدراسة ركيزة أساسية رملية تحت غطاء من التربة رقيق جداً تنتشر خلف الجزر الصخرية والشعاب المرجانية وفي قاع المضايق الفاصلة بين الجزر واليابس، وسبخات صغيرة على كلا جانبي التومبولو المنتشرة بخليج زكريت. ويبدو تأثير حركة دخول الرواسب ورجوعها من الشمال إلى الجنوب في تطور التومبولو. ويقع التومبولو على مناسيب منخفضة لكنها أعلى من منسوب سطح البحر الحالي مما يدل على أنها تشكلت خلال فترة ماضية كان

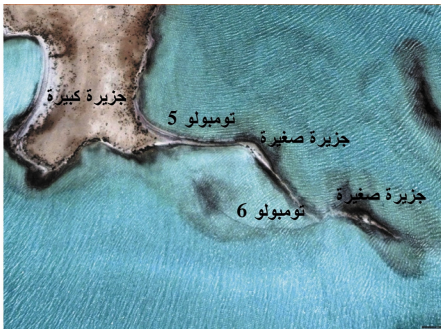
منسوب البحر أكثر ارتفاعاً من الآن. خاصة بعد ذوبان الجليد أثناء الفترة الفنلندرية في عصر الهولوسين (نبيل امبابي، ١٩٨٤، ص ١٢).

صورة (١) : التومبولو الرملي البسيط شمال غرب رأس الزبارة.

صورة (٢) : التومبولو الصخري البسيط جنوب غرب رأس عشيرج.

صورة (٣) : التومبولو الرملي البسيط في مدخل دوحة فشياخ.

صورة (٤) : التومبولو الأول من التومبولو الثلاثي في مدخل دوحة فشياخ.



صورة (٥) : التومبولو الثاني والثالث من التومبولو الثلاثي.

المصدر: صور الأقمار الصناعية من جوجل إرث.

صورة (٦) : التومبولو الثنائي شمال رأس أبروق.

صورة (٧) : تومبولو يربط جزيرتين جنوب غرب رأس أبروق.

صورة (٨) : تومبولو ثنائي يشكل لاجون ساحلي بخليج زكريت.

صورة (٩) : تومبولو رملي بسيط بخليج زكريت.

صورة (١٠) : تومبولو خلف الشعاب المرجانية بخليج زكريت.

صورة (١١) : تومبولو يربط جزيرتين أمام رأس أبروق.

صورة (١٢) : تومبولو يربط إحدى الجزر برأس أبروق.

المصدر: الصور رقم (٧، ٨، ٩) من جوجل إرث، والصور رقم (١٠، ١١، ١٢) من الدراسة الميدانية.

التومبولو رقم (١٠، ١١) من النوع المزدوج (E) حيث يربطان الجزيرة الشاطئية الممتدة أمام الساحل باليابس الرئيسي، وتبلغ مساحتها حوالي ١٠٠٠٠ متر^{٢}، كما أنهما يحصران فيما بينهما لاجوناً ساحلياً تبلغ مساحته حوالي ٦٥٠٠ متر^{٢}، يتميز بضحالة مياهه وكثرة الرواسب التي تجلبها الأمواج والتيارات المدية من البحر. حيث تدخل مياه البحر إلى اللاجون من جهة الشمال عبر قنوات مدية صغيرة في جسم التومبولو رقم (١٠) الذي يتميز بقلة سمكة خاصة في القطاع الأوسط منه وذلك أثناء فترات المد. ويتألف التومبولو رقم (١٠، ١١) من الرمل بصفة أساسية بالإضافة إلى الحصى وبعض الصخور الجيرية المرجانية التي تنتشر حول هوامش اللاجون الساحلي (صورة ٨).

يتألف التومبولو رقم (١٢) الذي يقع عند مدخل الجزء الجنوبي من خليج زكريت عند النقطة التي يتغير عندها خط الساحل الشرقي من خليج زكريت ليصبح شماليًا – جنوبيًا من الرمال، وهو تومبولو من النوع الرملي البسيط (A)، ويظهر بشكل فردي ليربط إحدى الجزر الشاطئية القريبة من الشاطئ باليابس الذى تمتد أمامه، وتبلغ مساحتها حوالي ٦٧٠٠ متر^{٢} (صورة ٩).

ثامنًا – التحليل الإحصائي :

تم التحليل الإحصائي لأبعاد التومبولو المجموعة ميدانياً ومن خلال صور الأقمار الصناعية من جوجل إرث، وحُسبت النسب وأُجريت التحليلات الإحصائية لمقارنة ظاهرة التومبولو بعضها البعض (شكل ٧). وقد تم إجراء اختبارات F على كل مجموعة البيانات لإظهار قدر من التباين، وتم إجراء الاختبارات لمجموعات البيانات عالية التنوع، نظراً للاختلافات الكبيرة في الوقت الحاضر.

تختبر الفرضيات ما يلى: (١) لا تختلف ظاهرة التومبولو مورفومترياً عن بعضها البعض في أي من النسب المعروضة. (٢) لا تختلف ظاهرة التومبولو الصغيرة مورفومترياً عن ظاهرة التومبولو الكبيرة، وفي أي من النسب المعروضة. وجرى اختبار كل الفرضيات عند مستوى ثقة ٩٥%. وتوضح الأشكال البيانية مقارنة النسب المختلفة لكل من ظاهرة التومبولو الصغيرة والكبيرة، واختبار الاختلافات الشكلية كتطور لظاهرة التومبولو. تم احتساب حجم التومبولو من خلال نسبة الطول إلى العرض.

يبلغ إجمالي عدد التومبولو الذي تم حصرة في منطقة الدراسة ١٢ تومبولو، وتم مقارنتها مع بعضها البعض باستخدام نفس الاختبارات الإحصائية.

تم مقارنة أوجه أبعاد التومبولو مثل طول قاعدة التومبولو المتصلة باليابس (X)، وطول التومبولو (J) الذي يُمثل طول المسافة الشاطئية من الجزيرة إلى اليابس، وعرض التومبولو (W)، وطول الجزيرة الشاطئية التي يتكون خلفها التومبولو (I).

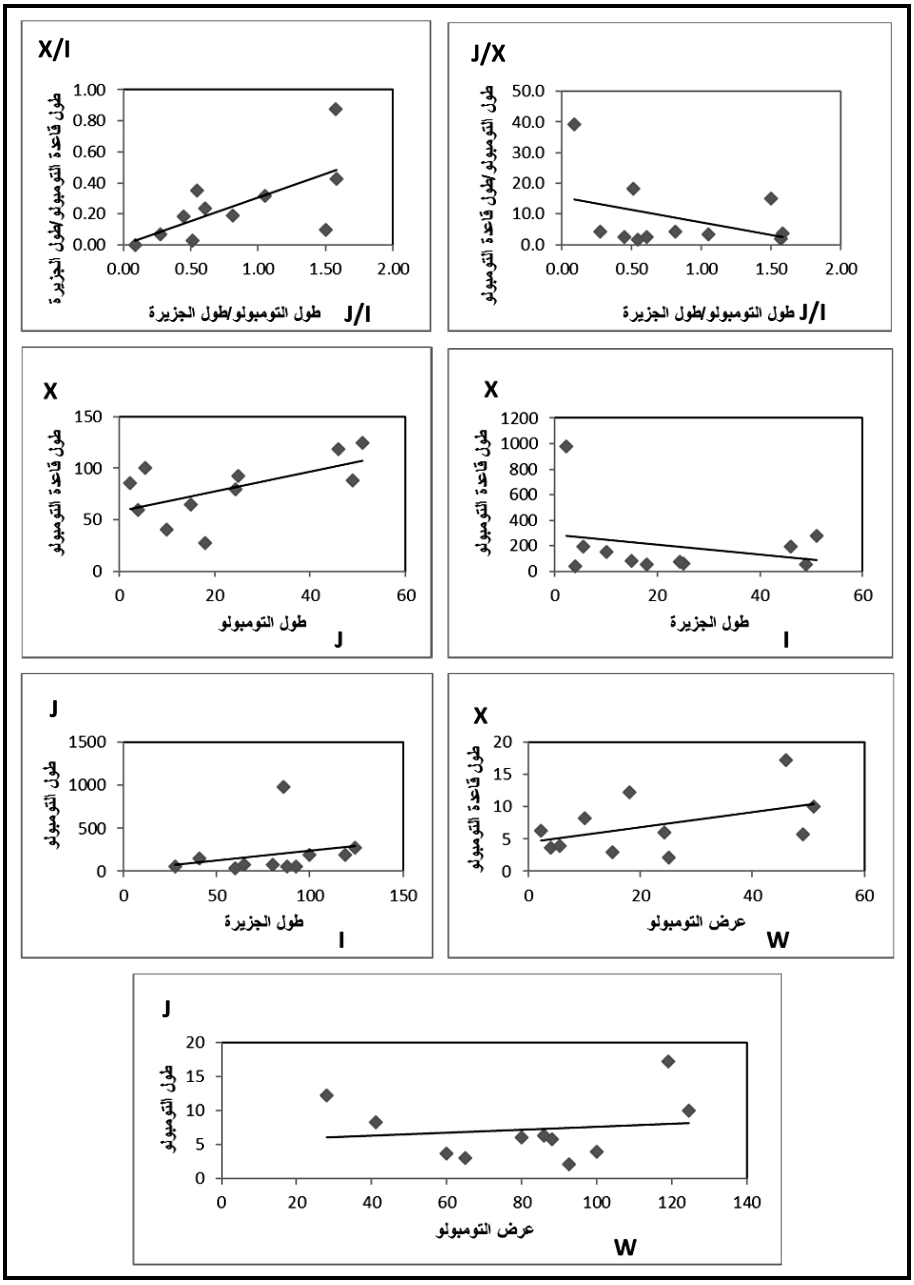
وتم اختبار الفرض الصفري "لا توجد اختلافات مورفومترية بين التومبولو على الساحل الغربي من شبه جزيرة قطر عند مستوى ثقة ٩٥%" لكل المناطق التي يوجد بها التومبولو، حيث تفترض أن كل نسب التومبولو بالنسبة لمناطق تواجدها سوف لا تختلف اختلافاً كبيراً (أي أن متوسط الفروق بين النسب لكل المناطق يساوى صفراً). ويتضح من نتيجة اختبار T أنها دالة إحصائية حيث أن قيمة (P) أقل من ٠,٠٥ (p value < 0.05)؛ لذلك تم رفض الفرض الصفري. حيث وُجدت اختلافات مورفومترية كبيرة بين نسب أبعاد التومبولو المختلفة وذلك بالنسبة لكل المتغيرات (جدول ٣ وشكل ٧).

جدول (٣) : نتائج تحليل التباين.

النسبة	قيمة P=	قيمة F=
J/I	P= 0.096	F= 2.3
X/I	P= 0.194	F= 4.2
I/J	P= 0.092	F= 2.4
J/X	P= 0.024	F= 1.6

يتضح من التحليل الإحصائي الخاص بمعامل الارتباط بين نسب أبعاد التومبولو المختلفة أنه توجد علاقات طردية فقط، حيث توجد علاقة طردية قوية بين طول قاعدة التومبولو المتصلة باليابس وبين طول المسافة الشاطئية من الجزيرة إلى اليابس والتي تُمثل طول التومبولو تبلغ ٠,٧٠، كما توجد علاقات طردية ضعيفة بين طول قاعدة التومبولو وطول الجزيرة الشاطئية الممتدة أمام الساحل تبلغ ٠,٢٥. في حين توجد علاقة طردية قوية تبلغ ٠,٦٤ بين طول قاعدة التومبولو ومتوسط عرض التومبولو. وتوجد علاقة طردية متوسطة بين طول التومبولو وطول الجزيرة تبلغ ٠,٥٤، بينما توجد علاقة طردية ضعيفة بين طول التومبولو وعرضه تبلغ ٠,٢٦. وتكمن أهمية الارتباط في أنه يُتيح

للدراسة الحالية بإمكانية إصدار توقعات مستقبلية عن تطور أحد أبعاد التومبولو عن طريق علاقته بالبُعد الأخر.



شكل (٧) : العلاقة بين الأبعاد المختلفة للتومبولو والجزر الشاطئية بمنطقة الدراسة.

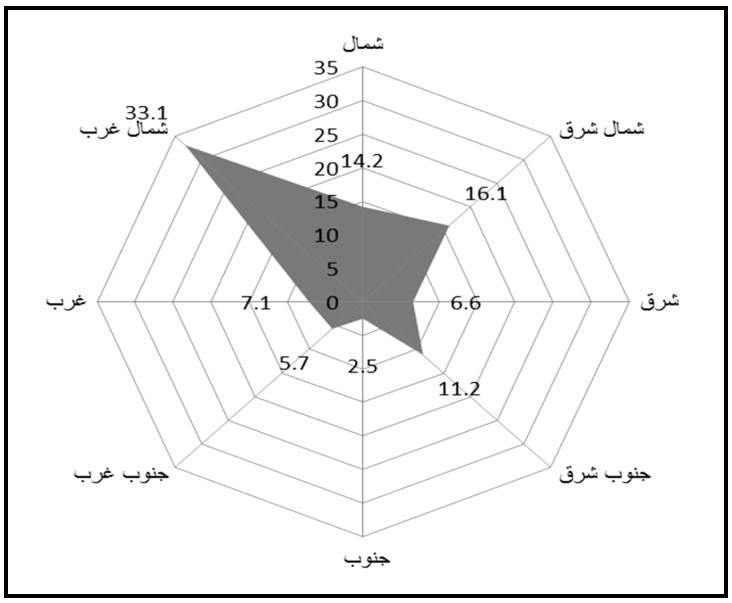
تم فحص الفروق في قياسات الأبعاد المتعلقة بالتومبولو باستخدام أسلوب تحليل التباين. ويتضح من جدول (٣) أن كل النسب (I/J)، (X/I)، (J/X)، (J/I) تم اختبارها لتحديد أي النسب توضح الاختلافات بشكل أكبر داخل منطقة الدراسة. ولقد تم اعتماد مستوى ثقة ٥% لتحديد الأهمية. ويتضح من النتائج في جدول (٣) أن هناك اختلافات كبيرة بين أبعاد التومبولو في منطقة الدراسة عند مستوى الدلالة ٥٪. خاصة نسبة طول قاعدة التومبولو إلى طول العقبة البحرية (الجزيرة) (X/I)، ونسبة الطول البارز المتعمق في البحر من التومبولو إلى طول قاعدة التومبولو (J/X) حيث أظهرت اختلافات بشكل أكبر من النسب الأخرى.

تاسعًا – الخاتمة :

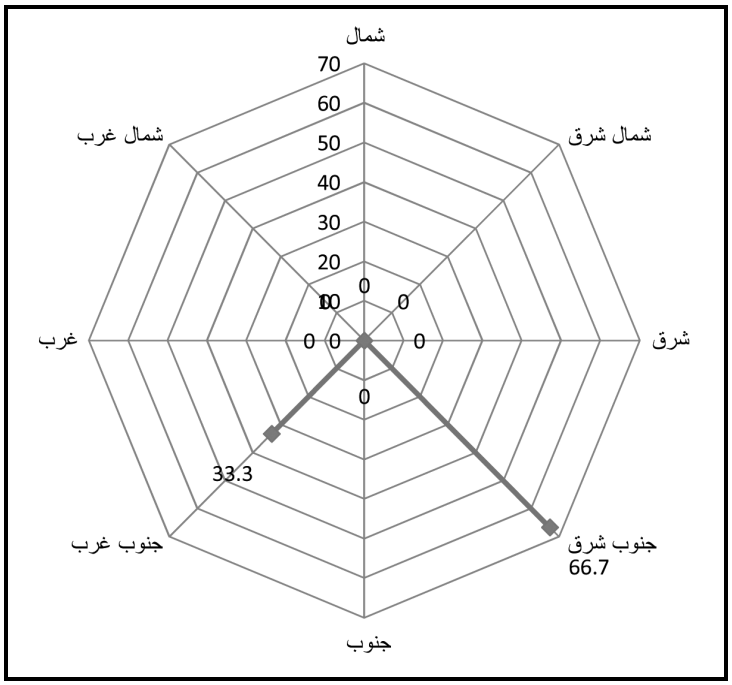
- تم تحديد ظاهرة التومبولو في الساحل الشمالي الغربي من شبه جزيرة قطر، وتم وصفها على نطاق واسع مجمعة من حيث تشابهها في الشكل. كما تم تحديد أنواع التومبولو التي تُشير إلى الاختلافات المكانية على طول القطاع الساحلي الذي ينتشر فيه التومبولو.
- يتشكل التومبولو خلف الجزر الشاطئية بسبب اقتراب الأمواج الضخمة وانحرافها حول الجزر ثم تقوم بترسيب الرواسب بعد ذلك. ويوفر الاطار المرجاني الذي يحيط بالساحل حول رأس عشيرج وإلى الجنوب منها، وبعض الشعاب المرجانية المنتشرة إلى الغرب من الساحل الشرقي لخليج زكريت، والساحل الجنوبي الغربي لرأس أبروق الحماية للشاطئ وتؤدي إلى الأنماط المعقدة من انكسار وانحراف الأمواج داخل منطقة اللاجونات الساحلية.
- يلاحظ من قياسات أبعاد التومبولو والجزر الشاطئية المنتشرة أمام الساحل الشمالي الغربي من شبه جزيرة قطر أن كل النسب الخاصة بنسب (J/I) كانت أقل من ١,٦. تؤكد المعادلات الرياضية الخاصة بالتومبولو على وجود علاقة خطوط منحنية، وقد أظهرت اختلافات كبيرة بين التومبولو.
- اتضح أن تطور التومبولو لا يُمكن أن يُعزى مباشرة إلى حجم الجزيرة الشاطئية أو إلى المسافة الشاطئية من الجزيرة إلى اليابس. ولكن يرجع إلى مزيج من العوامل والعمليات البحرية التي تحدث في الجانب المحمي من الأمواج خلف الجزر الشاطئية والشعاب المرجانية.
- إن دراسة تاريخ العمل الجغرافي على اليابس المواجهة للبحر مباشرة يسير جنباً إلى جنب مع دراسة التيارات البحرية القريبة من الشواطئ، ودورة حركة المياه من حيث دخول وخروج الماء

من وإلى الشاطئ، ونوع وتوزيع الرواسب التي من شأنها أن تؤدي إلى فهم أكثر اكتمالاً للتطور الجيومورفولوجي لظاهرة التومبولو المنتشرة بمنطقة الدراسة والتي ترجع إلى عصر الهولوسين.

- يُمثل الاتجاه الشمالي الغربي – الجنوبي الشرقي الاتجاه الأكثر شيوعاً لاتجاه التومبولو ويبلغ نسبته ٦٦,٧% متفق مع اتجاه حركة الرياح والأمواج السائدة بمنطقة الدراسة، بينما الاتجاهات الأخرى للتومبولو أخذت اتجاه الشمال الشرقي – الجنوب الغربي بنسبة ٣٣,٣% (شكل ٨، ٩).
- يُعد التومبولو في منطقة الدراسة من أنواع التومبولو صغير الحجم، حيث يُعد التومبولو صغيراً إذا بلغ طوله ٥٠٠ متراً (Pethick, 1984, p. 260)، في حين أن الغالبية حوالي ٦٧% من التومبولو في منطقة الدراسة طولها أقل من ١٠٠ متراً، وأطول طول للتومبولو لا يصل إلى أكثر من ١٦٨ متراً.
- تتألف الرواسب السطحية للتومبولو من الرمل الخشن والرواسب المفككة بنسبة كبيرة جداً والتي نشأت بفعل الأمواج بصفة أساسية مما يعني أنه ليس هناك سوى الأمواج عالية الطاقة التي تُصنف رواسب الطبقة العليا.
- الجزر والحافات والشعاب المرجانية وفرت المصادر المهمة للرواسب المفككة لتشكيل التومبولو، ولكن المواد المصنفة الملائمة تتم أيضاً على الشواطئ من خلال عمليات الغسل بواسطة الأمواج. وفرة وديناميكية التومبولو بمنطقة الدراسة يجعل هذه المنطقة بقعة ساخنة مثيرة للاهتمام بدراسة هذه الظاهرة بوصفها إحدى ظاهرات خط الشاطئ الجيومورفولوجية. كما هو موضح في هذه الدراسة، تحدث التومبولو نتيجة مجموعة من الظروف بين الجزر القريبة من خط الشاطئ، وأنها تختلف إلى حد كبير في البنية التفصيلية لها.
- يُمكن أن يُعزى تشكيل التومبولو البسيط على الساحل الشمالي الغربي من شبه جزيرة قطر إلى وجود الشعاب المرجانية والعلاقة المباشرة بين الجزيرة الشاطئية وتراكم الرواسب خلف الجزر والشعاب المرجانية. وبالنسبة للتومبولو المركب والمعقد يُرجح أن هناك تداخل لبعض العلميات والعوامل التي تُساهم في تشكيل التومبولو. حيث إن الشعاب المرجانية المتقطعة والموجودة بمنطقة الدراسة تؤدي إلى مزيج من العمليات التي تشمل انكسار وانحراف الأمواج الضخمة، وتوزيع الرواسب، وانتشار الرواسب بالقرب من الشاطئ، والتدفق الحالي للتيارات المائية، والظروف المناخية المحلية، ولكل منها تأثير على تطور ظاهرة التومبولو الناشئة عن الإرساب الساحلي.



شكل (٨) : وردة اتجاه الرياح بشبه جزيرة قطر.



شكل (٩) : وردة اتجاه التومبولو بمنطقة الدراسة.

التوصيات :

- ينبغي الاهتمام والحفاظ على ظاهرة التومبولو؛ لأنها ظاهرة مهمة جداً من الناحية البيئية بوصفها محميات طبيعية. وعادة ما تُمثل ظاهرة التومبولو الشواطئ الرملية، وتُحاط في كثير من الأحيان بالسبخات واللاجونات الساحلية الضحلة التي تُعزز مناطق التكاثر للأسماك البحرية والطيور، ويُمثل التومبولو أيضاً الموائل الخاصة للنباتات والحيوانات المنتشرة بالمنطقة.
- ينبغي الاهتمام بظاهرة التومبولو وعمليات الشاطئ في خطة حفظ وصيانة وإدارة تلك المنطقة الساحلية، وينبغي الاهتمام بها بشكل خاص. حيث يتوفر بمنطقة الدراسة الظروف البيئية الخاصة المتنوعة مثل ديناميكية المياه الضحلة والعمليات الشاطئية. تُقدم البيئة الساحلية المسرح الأساسي لهذه العمليات الشاطئية، ويعاني خط الشاطئ من تأثير عمليات الشاطئ. لذا تُعد منطقة الدراسة بيئة طبيعية متنوعة للغاية بأشكال خط الشاطئ. حيث تم تسجيل الأنواع المختلفة للتومبولو، ومراحل تطوره المختلفة. كما أن وفرة وديناميكية التومبولو تحث على مزيد من الدراسات على تطورها الطبيعي وأهميتها البيئية.
- ينبغي الأخذ بعين الاعتبار التهديدات الرئيسية التي قد يتعرض لها التومبولو بمنطقة الدراسة وتشمل أنشطة التخييم حيث من الصعب غالباً تحديد التومبولو في المناطق التي قد تشهد الكثير من أعمال التنمية الساحلية. ويساعد انعدام التنمية الساحلية بمنطقة الدراسة على سهولة ملاحظة العمليات الطبيعية التي ساعدت على نشأة وتطور التومبولو. إلى جانب ظاهرة الإثراء الغذائي الذي يتسبب فيه الإنسان. بالإضافة إلى نحت الأمواج الناتج عن القوارب واللنشات التي تستخدم في الترفيه والاستمتاع بجمال المنظر الطبيعي للمنطقة. على سبيل المثال، كثيراً ما تُستخدم العديد من الخلجان المجاورة للتومبولو كمرافئ للزوارق الصغيرة التي قد تؤثر على حركة المياه ودورة المياه التي تدخل وتخرج ببطء من هذه الخلجان البحرية، وتُعكر طبقات الرواسب في القاع، وتلوث المياه الخاصة بها بالمواد الكيميائية المضادة للصدأ التي تدهن بها تلك القوارب. لذا ينبغي مراعاة تمييز التومبولو بوصفها ظاهرة إرساب بحري غير عادية توجد في بيئة بيولوجية متنوعة في التخطيط الساحلي المستقبلي بدولة قطر.

المراجـع

أولاً : المراجع العربية.

- إدارة الأرصاد الجوية (٢٠١٤): بيانات غير منشورة، الدوحة، قطر.
- أطلس قطر الوطني (٢٠٠٦): مجلس التخطيط، دولة قطر، الدوحة، قطر.
- السيد السيد الحسيني (١٩٨٨): الجزر النيلية بين نجع حمادي وأسيوط (مصر العليا)، الجمعية الجغرافية الكويتية، العدد ١١٤، الكويت.
- على إبراهيم الشيب (١٩٩٧): الجيومورفولوجية الساحلية لشبه جزيرة أبروق، مجلة مركز الوثائق والدراسات الإنسانية، العدد ٩، جامعة قطر، قطر.
- محمد صبري محسوب (١٩٩٧): جيومورفولوجية الأشكال الأرضية، الطبعة الأولى، دار الفكر العربي، القاهرة.
- محمود محمد عاشور (١٩٨٩): سطح قطر بين الماضي والحاضر "دراسة في تغير ملامح السطح"، وحدة البحث والترجمة، الجمعية الجغرافية الكويتية وجامعة الكويت، العدد ١٢٦، الكويت.
- محمود محمد عاشور وآخرون (١٩٩١): السبخات في شبه جزيرة قطر (دراسة جيومورفولوجية – جيولوجية – حيوية)، مركز الوثائق والدراسات الإنسانية، جامعة قطر، الدوحة، قطر.
- نبيل سيد امبابي ومحمود عاشور (١٩٨٣): الكثبان الرملية في شبه جزيرة قطر، الجزء الأول، مركز الوثائق والبحوث الإنسانية، جامعة قطر، الدوحة، قطر.
- نبيل سيد امبابي (١٩٨٤): التغلغل البحري في الساحل القطري، وحدة البحث والترجمة، الجمعية الجغرافية الكويتية وجامعة الكويت، نشرة ٧٠، الكويت.
- ياسين إبراهيم ياسين طه (١٩٨٠): سواحل قطر، دراسة جيومورفولوجية، مطبعة الجبلاوي، القاهرة.

ثانياً : المراجع الأجنبية.

- Andrew S. Goudie (2004): Encyclopedia of Geomorphology, Routledge, London, Volume 2.
- Derek Flinn (1997): The Role of Wave Diffraction in the Formation of St. Ninian's Ayre (Tombolo) in Shetland, Scotland, Journal of Coastal Research, Fort Lauderdale, Florida.

- Easterbrook, Don T. (1999): Wave diffraction & refraction, Earth Surface Processes and Landforms, Second Edition. Prentice Hall Inc.
- Glossary of Geology and Related Sciences (1957): The American Geological Institute, USA.
- Harri Tolvanen, Samu Numminen, and Risto Kalliola (2004): Spatial Distribution and Dynamics of Special Shore-Forms (Tombolos, Flads and Glo-lakes) in an Uplifting Archipelago of the Baltic Sea, Journal of Coastal Research, West Palm Beach Florida.
- Hearn, C.J., Hatcher, B.G., Masini, R.J. and Slmpson, C.J. (1986): Oceanographic Processes on the Ningaloo Coral Reef, Western Australia. Centre for Water Research, UWA, Environmental Dynamics Report ED.
- Helen M. Tribe and David M. Kennedy (2010): The geomorphology and evolution of a large barrier spit: Farewell Spit, New Zealand, Earth Surface Process and Landforms, Vol. 35, USA.
- Hsu, J.R.C. and SILVESTER, R. (1990): Accretion behind single offshore breakwater. Journal Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 3.
- King, C.A.M. (1972): Beaches and Coasts. Edward Arnold, London.
- Mark Bromley (2010): Tombolo How do they form? St. Ninian's Isle, Scotland, Jesus college, oxford, London.
- Maurice L. Schwartz, Olavi Grano and Mauri Pyokari (1989): Spits and Tombolos in the Southwest Archipelago of Finland, Journal of Coastal Research, Charlottesville, Virginia.
- Neal, William; Orrin H. Pilkey; Joseph T. Kelley (2007): Atlantic Coast Beaches: A Guide to Ripples, Dunes, and Other Natural Features of the Seashore. Missoula, MT: Mountain Press Publishing.
- Pethick, J., (1984): An Introduction to Coastal Geomorphology. Lon-don, UK, Edward Arnold.
- Silvester, R. and Hsu, J.R.C. (1993): Coastal Stabilization: Innovative Concepts. Prentice Hall, New Jersey. 578 p.
- Sunamura, T. and Misuzo, (1987): A study on depositional shore-line forms behind an island. Ann. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba.
- Zenkovich, V.P. (1967): Processes of Coastal Development. Oliver and Boyd, Edinburgh, London.

Geomorphology of The Tombolo on The Northwest Coast of Qatar Peninsula

ABSTRACT

This study looks at tombolo phenomenon, depositional coastal landforms forms on shallow straits between islands and the mainland. Tombolo is a spit of sand or shingle which joins an offshore island to the mainland. This study uses case studies from Qatari Coasts to show the difference between tombolo, and to identify the reasons of tombolo development.

Tombolo forms result of wave refraction and diffraction processes and longshore drifts in the lee of an island. Where wave refract around the island which is as an obstacle and deposit material behind island. Tombolo forms when the offshore distance between island and shoreline is less than 1.5 times the island's length.

Keywords: Tombolo, wave refraction, wave diffraction, Morphometric Analysis, Statistical Analysis