

اقتراح نموذج وصفي رقمي للمظاهر الجيوكارستية في مغارة بيت الوادي-المنطقة الساحلية

الدكتور أحمد بلال*

الدكتور محسن سعيد**

ربيع يوسف***

(تاريخ الإيداع 4 / 8 / 2014. قُبِلَ للنشر في 30 / 11 / 2014)

□ ملخص □

تعتبر مغارة بيت الوادي، الواقعة في قلب السلسلة الساحلية على بعد 40 كم إلى الشرق من طرطوس، مع ما تتضمنه من تنوع جيوكارستي، من أهم المظاهر الكارستية في المنطقة الساحلية كماً ونوعاً. تتموضع ضمن بنية جيولوجية شديدة التعقيد، وتقطعها مجموعة من الفوالق التي تعتبر من الأسباب الرئيسية لتطورها. ليتولجياً تعود للألبان، المكون من الحجر الكلسي، والكلسي المدلمت، المشوب بالفضاريات، مع وجود تخطيطات بازلتية قاطعة للمغارة. تعكس مورفولوجية المغارة أشكالاً كارستية معقدة جداً ضمن الصخور الكربوناتيّة، تأخذ اتجاه شمال - جنوب. يخترقها نهر جوفي، وتشهد جريان سطحي وجوفي مرتبط بالهاطل المطري كما تؤكد الينابيع المنتشرة في المنطقة كنبع السودة. تقدم المغارة مع خصائصها الجيوكارستية نموذجاً كارستياً متكاملأً لاحتوائها على أغلب المظاهر الكارستية. سمحت هذه الدراسة، باستخدام تقنيات وبرمجيات حديثة، بوضع مجسم ثلاثي الأبعاد، واقتراح نموذج رقمي يقدم تصنيفاً واضحاً ودقيقاً لأجزاء المغارة، ويمثل دليلاً نموذجياً لدراسات من هذا النوع في سورية وغيرها.

الكلمات المفتاحية: مظاهر جيوكارستية، نموذج رقمي، مغارة بيت الوادي - المنطقة الساحلية

* أستاذ - قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

** أستاذ مساعد - قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

*** طالب دراسات عليا (دكتوراه) - قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

Descriptive and Numerical model of GeoKarstics phenomena of Baet Alwadi Cavern –Coastal chains

Dr. Ahmad Bilal*
Dr. Mohseen Said**
Rabih Yousef***

(Received 4 / 8 / 2014. Accepted 30 / 11 / 2014)

□ ABSTRACT □

Baet Alwadi cavern, located in the central part of the coastal chain, at 40 km to the east of Tartous city, with its geoKarstic diversity, is the most important Karst phenomena in the coastal area. It represents a complex geological structure, affected by clear faults, which are the main reasons of its development. Lithologically, it belongs to the alpine age, constituted of limestone and dolomite limestone tinged with clay, associated to basalt sills, which cross it. The cavern morphology indicates a complex shape within the carbonate rocks, taking the direction North-South. An underground river passes through the cavern, in addition to a ground and underground flowing, due to the rainfall water precipitation indicated by the occurred springs in the region as Al Saouda spring. The cavern is a typical karstic integrated model, showing the most karst phenomena. This study allowed, using modern techniques and software, the development of a three-dimensional model, and consequentially a numerical model permitting a clear and precise classification of the caverns, in Syria and other countries.

Key words: Geo-karstic phenomena, Numerical model, Baet Alwadi Cavern, Coastal chains

* professor , Department of geology; Faculty of Sciences ;Damascus University; Damascus, Syria.

** Associate professor , Department of geology; Faculty of Sciences ;Damascus University; Damascus, Syria

*** postgraduate student, Department of geology; Faculty of Sciences ;Damascus University; Damascus, Syria

مقدمة:

تلعب العمليات الكارستية من انحلال وانحلال جزئي، دوراً هاماً في تغيير وتطوير جيولوجية المنطقة التي تنتشر فيها على السطح، كما في النطاق غير المشبع، ونطاق المياه الجوفية. يتحقق ذلك من خلال حل وحت للصخور، وإعادة تبلور وتخر البعوض منها على شكل بلورات وترتب متبقية. هذه العمليات تسهم في تغيير مورفولوجية السطح والخواص الهندسية للصخور، وكذلك هيدرولوجية وهيدروجيولوجية المنطقة (Dreybrodt, 1996). ومن المعروف أن المغاور تنتشر في معظم السحن الكربوناتيّة، عند توافر الظروف المناخية، والتركيب الليتولوجي، بالإضافة لعمل المياه السطحية والجوفية بالحل والحت، والخصائص البتروفيزيائية والتكتونيك الفعّال، خاصةً في المراحل الأولى لتشكل المغارة (Bonacci, 1987).

نعرض في هذا البحث النتائج التي تم التوصل إليها من خلال دراسة وصفية جيولوجية وكارستية لأهم مغاور المنطقة الساحلية (بيت الوادي)، التي تقدم خصائص مميزة من حيث النشوء والتطور، وتشكل مظاهر المغارة الداخلية في ضوء المعطيات العالمية المتوافرة عن هذا النموذج الكارستي (Klimchouk, et al. 2000. Dreybrodt, 1988). سمحت هذه النتائج بإنشاء منظور ثلاثي الأبعاد للمغارة، وحساب البارامترات الأساسية، وذلك بعد دراسة مكونات المغارة جيولوجياً وبيوفيزيائياً، ودراسة الشبكات الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية، بالإضافة إلى حركة المياه الجارية والراشحة ضمنها في ضوء المعطيات العالمية (Király, 1988, Keys, 1990).

وباستثناء بعض التقارير المحلية أو الجزئية عن منطقة الدراسة، مغارة بيت الوادي، بقصد الترويج السياحي (مديرية سياحة طرطوس)، فإن هذه الدراسة تعتبر أول دراسة تفصيلية متكاملة، وصفيّاً وبيولوجياً وكارستياً، لأهم مظاهر الكارست في المنطقة الساحلية، مما يكسبها أهمية مميزة، ويقدمها كدراسة تفصيلية في فهم هذا النوع الهام من المظاهر الكارستية، وذلك باستخدام طرائق علمية حديثة متكاملة حقلية ومخبرية وتحليلية.

مفاهيم عامة

السبيلولوجيا هو تعبير معرب للمصطلح اللاتيني (Speleology)، الذي هو علم وصف المغاور من النواحي الشكلية، وبالتالي فهو مرتبط بمفهوم المغارة. إذا علم السبيلولوجيا يهتم بدراسة المغاور، وبالتالي فالمغاور تشكل مادة علم السبيلولوجيا.

علمياً يقصد بالمغارة (Cavern)، أو الكهف (Cave) تجويف طبيعي باطني، ذو تفرعات وتشعبات بسيطة أو معقدة، قد يمتد رأسياً أو أفقياً، كما قد يحتل مستويّاً واحداً أو أكثر، وقد يكون جافاً أو مشغولاً بجريان مائي حتى الوقت الحاضر. في الغالب تتميز المغاور الجافة بمستويين أو أكثر، لذلك قد يشار إليها بالكهوف الرواقية (Callered Caves). تتميز الكهوف الصغيرة بتوضعها بشكل واضح على طول خطوط تتحكم فيها الفواصل، وسطوح التطبيق إلى حد كبير. هذه الفواصل وسطوح التطبيق هي مظاهر منتظمة مجسمة توسعت بفعل انحلال تمايزي للمياه التي جرت فيها (Gvijic, 1918, 1925). في الغالب يكون تحكم نظم الفواصل واضحاً بشكل بارز في نمط الكهف.

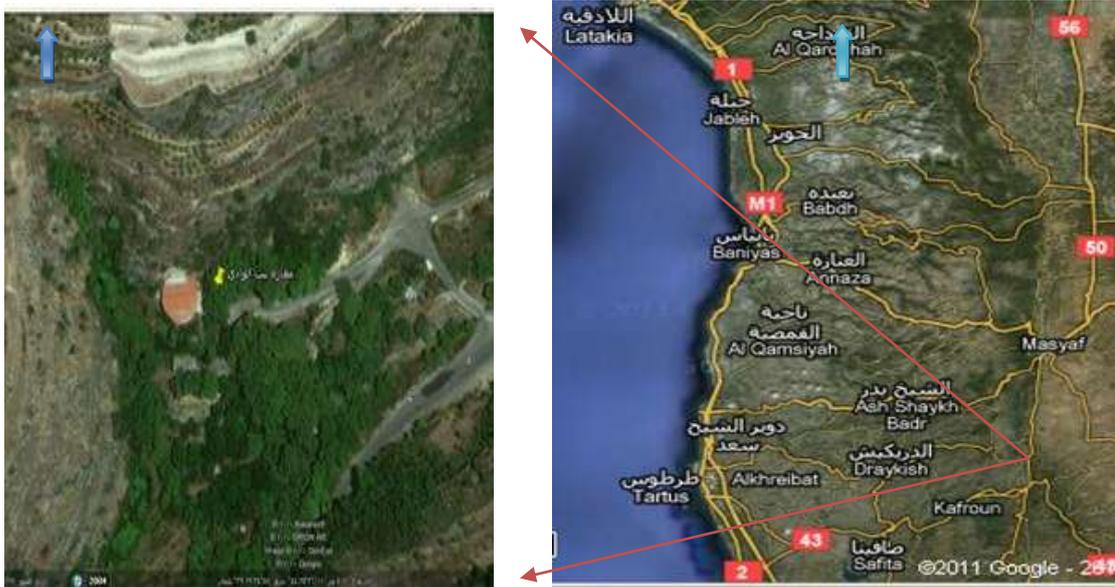
تبدي المغاور مظاهر مميزة، تضيف إلى جمالها ومنفعتها، وتلقي ضوءاً على أصلها وكيفية تشكلها وتاريخها. أكثر المظاهر الكارستية بروزاً هي رواسب كربونات الكالسيوم على السقف والجدران بما يعرف ترافرتان الكهف، ويطلق عليها أحياناً اسم حجر التقطير (Drip Stone) للدلالة على الأشكال التي تتكون بفعل الماء، الذي ينقطر من سقف المغارة، وعلى الأعمدة النازلة (Stalactites النوازل) الممتدة نحو الأسفل، والأعمدة الصاعدة

(Stalagmite الصواعد) النامية نحو الأعلى، والأعمدة (Columns)، والمسلات (Billars) المتكونة عندما تنمو الأشكال السابقة معاً.

إضافة إلى الصواعد والنوازل والأعمدة التي لا حد لأشكالها وأحجامها، فقد وجدت في أجزاء من بعض المغاور، أشكال تعرف بالأعمدة المائلة (Helctite) غير الشائعة، وذلك لأنها لا تنمو بالضرورة على طول خطوط عمودية، فقد تنمو أجزاؤها المنفردة بصورة أفقية أو مائلة أو بشكل أقواس. ويفسر مقاومة هذه الأعمدة تأثير الجاذبية، بأنها تتكون عندما لا يتسرب الماء إلى الكهف بكمية كافية تساعد على تكون قطرات ساقطة، أما إذا كان مقدار الماء كافياً، بحيث يبقى السطح رطباً، فإن نمو الأجزاء المنفردة من الأعمدة المائلة يعتمد عند ذلك على الاتجاه العفوي لمحاور بلورات كربونات الكالسيوم.

منطقة الدراسة

تشكل هذه الدراسة جانباً هاماً من دراسة متكاملة عن المظاهر الكارستية في المنطقة الساحلية، بتكامل بين عمل كل من التكتونيك والمياه. تتموضع مغارة بيت الوادي في قلب السلسلة الساحلية، على بعد 40 كم إلى الشرق من مدينة طرطوس، وعلى بعد حوالي (13 كم) إلى الشمال الشرقي من مدينة الدريكيش، وحوالي (8 كم) إلى الغرب من محور الطي المشكل للسلسلة الساحلية، وتقع فوهة المغارة على الجانب الشمالي للوادي المتعمق. يحدها من الشرق دوير رسلان، ومن الجنوب بمنة، ومن الشمال قنية علوش وبويضة الزمام، ومن الغرب العينات وبمحصر، وتتحدد وفق الإحداثيات التالية (شكل 1): E: 36 11 580 ، N: 34 57 490 ، Ele: 526 m



شكل (1) - الموقع الجغرافي لمغارة بيت الوادي وكما تبدو من الفضاء (Google earth. coastal area- Syria,2004)

a. المناخ والهائل المطري والنشاط الإنساني: المناخ متوسطي رطب، والهائل المطري غزير يتجاوز المعدل العام عن 1000 مم/سنة، (المديرية العامة للأرصاد الجوية، 2007). ترتفع المغارة عن أسفل الوادي المتعمق مسافة (25م). يأخذ محور المغارة الاتجاه جنوب - شمال بشكل عمودي على محور الوادي المتعمق، ضمن جرف صخري كربوناتى قاس. تنتشر المظاهر الكارستية بكثافة في منطقة الدراسة بشكل واضح Harmon and wicks,

(Cvijic, 1925(2006)، وتبدو المنطقة على شكل وادي عميق يفصل بين جبلين بميل وانحدار شديدين (Ponikarov, 1966) من خلال الجدر الصخرية العمودية، بالإضافة إلى المغاور والتكهفات ذات الحجوم المختلفة. تعتبر المنطقة غنية جداً بالينابيع المائية الموسمية والدائمة، وهو أمر طبيعي في منطقة يزيد الهاطل المطري فيها عن 1000 مم / سنة، إضافة إلى توافر العامل البنيوي والليتولوجي التي تعمل مجتمعةً على ظهور مثل هذه الينابيع. يشكل الوادي نهراً كارستياً يمتلك الخصائص العامة للأنهار الكارستية (حوض الساحل ، 1979). بشرياً المنطقة عبارة عن مزارع وقرى صغيرة يعمل سكانها في الزراعة والقليل منهم في السياحة والمهن التقليدية الصغيرة. ينتشر الغطاء النباتي بكثرة في أماكن تواجد الترب، على شكل شجيرات وأشجار متنوعة.

تلعب غزارة الهاطل المطري، بالإضافة للمناخ الرطب، والليتولوجيا الملائمة في المنطقة الساحلية، بعد الانسحاب وتشكل الطي، الدور الرئيسي في تهيئة المنطقة، لبدء العمليات الكارستية، وتشكيل إقليم كارستي تعكسه بشكل نموذجي مغارة بيت الوادي مع ما تتضمنه من مظاهر كارستية متنوعة.

b. **البنية العامة:** تبدو السلسلة الساحلية على شكل محدب شمال جنوب غير متناظر، آخذاً بنية نصف نجد، يرتفع فيه الجزء الشرقي بنويماً وطبوغرافياً عن ذلك الغربي (Abdalla, 2008(Chorowicz et al, 2005 (Al-Husseini, 2000 (Quennel, 1984، ، بارتفاع أعظمي يصل إلى 1500م. تساير هذه البنية من الشرق سهل الغاب الإنهدامي شمال الفالق المشرقي . الشكل (2) يوضح تموقع بنية الساحلية كأحدى البنيات الرئيسة في سوريا وتكشفتها.

ينظر إلى الساحلية على أنها جزء من سلسلة القوس السوري الكريتاسي (walley, 2001, Brew et al.) في حين ينظر إليها Gomez et al. (2006) على أنها نهوض في السينوزويك. لذلك فإن الصخور الأحدث تتكشف مبعدة باتجاه الغرب، بفعل تأثير المنطقة خلال الميزوزويك والسينوزويك، بتطور التيتس، والركيزة العربية، ونشوء البحر الأبيض المتوسط (تريفينوف وعجميان 1991، 1967، Ponikarov). لعبت الحركات الأورجينية الألبية الدور الأساسي في نهوض السلسلة الساحلية (Abdalla, 2008)، وتشكيلها نمط طي متكامل امتد من فتحة شين جنوباً حتى فالق اللاذقية-كلس شمالاً،



شكل (2) - إلى اليمين: مجسم لسورية من الشمال إلى الجنوب يوضح تموقع بنية السلسلة الساحلية وفالق الإنهدام المشرقي، وإلى اليسار خارطة جيولوجية تكتونية للجزء الواقع في منطقة الدراسة منها، (Abdallah, 2008)

وقطعت بشكل لاحق بفالق الغاب لتشكل طياً وحيد الميل (Ponikarov, 1966). تشير المعطيات المتوافرة (Blankenhorn, 1891 . Dubertret, 1963 . Ponikarov, 1966 . يوسف وآخرون، 1980. يوسف، 2008). وتؤكد هذه المشاهدات الحقلية، إلى تحكم عمليات الحت الكارستية، بمعظم الأشكال المورفولوجية لجبال السلسلة الساحلية بالمظهر الحالي، حيث تفصل الوديان المتعمقة كارستياً بين القمم الحديثة. اقتصرت الحركات البنيوية التي حدثت منذ الميزوزويك، وحتى الآن على الحركات الإقليمية لنشوء القارات (الارتفاع والانخفاض الزمني) والفوالق، كما حدثت النشاطات البركانية البازلتية في عصر النيوجين، إضافة إلى اندفاعات تحت بحرية خلال السينومانيان الأسفل (Ponikarov, 1966).

c. **الستراتغرافيا:** تعود أقدم التشكيلات المتكشفة في المنطقة إلى الميزوزوي وتستمر حتى الرباعي. أثير وجود الكريتاسي من قبل معطي (1977)، في شرق السلسلة بما يعرف بتشكيلة الجويقا (Mouty, 1997) تبدأ من الألبسيان الأوسط الذي يتكشف في الوادي، يليه الألبسيان الذي يخترقه البازلت في القسم السفلي منه ، بسماكة تصل إلى (180م)، ثم يليه السينومانيان الأسفل، المغطى بأجزاء كبيرة من توضعات البازلت البليوسيني، المغطي لقمم الجبال المرتفعة. كما لعب التكتونيك المحلي دوراً هاماً في تكشف طبقات كربونانية تعود لأعمار جيولوجية أقدم ، Dubertret (1941 – 1943)، ابتداءً من محور الطي الممتد شمال – جنوب. الميل العام للطبقات هو باتجاه الغرب يتطابق مع الانحدار الطبوغرافي لحد كبير (Dubertret, 1963). يدل على ذلك التغيرات السحنية العمودية للتوضعات الشاطئية، العتبة القارية والمنحدر القاري. يلاحظ وجود عدم توافق في بعض أجزاء العمود الطبقي (جوراسي أعلى – ألبسيان)، بينما تكون التبدلات السحنية الجانبية أقل وضوحاً (Dubertret, 1963) .

أهمية البحث وأهدافه

تتحدد أهمية البحث من كونه أول دراسة نموذجية لبنية هامة من حيث تنوع المظاهر الجيوكارستية، التي تنشط بفعل التكتونيك الذي يسهل جريان المياه، لتقوم بعمليات الانحلال والانحلال الجزئي، اللازمة لتشكل هذه المظاهر. وعليه فإن هذا البحث يهدف إلى:

- تحليل بنية وليتولوجية مغارة بيت الوادي.
- تسليط الضوء على تكامل العمليات التكتونية والكيميائية، الانحلال والانحلال الجزئي، في تشكل المظاهر الكارستية المرتبطة بهذه المغارة كجزء من فهم هذه المظاهر في المنطقة الساحلية بشكل عام.
- إجراء دراسة وصفية جيوكارستية للمغارة والمنطقة المحيطة بها.
- إلقاء الضوء على مصادر وحركية المياه ضمن المغارة.
- اقتراح رؤية علمية تحليلية عبر نموذج رقمي يمثل دليلاً علمياً، لفهم دراسة المغاور في سورية والبلدان الأخرى.

طرائق البحث ومواده:

اعتمد البحث على دراسات حقلية للمغارة والمنطقة المحيطة بها ستراتغرافياً وبنويماً وهيدروجيولوجياً، فسرت وحللت باستخدام تقنيات وطرائق حديثة. أما الطرائق المستخدمة فهي حقلية وتحليلية مخبرية.

1-دراسات حقلية شملت:

- a.** المسح الحقلية بما في ذلك رفع المقاطع الليتوسترانغرافية اعتماداً على العينات الصخرية المدروسة
- b.** تنفيذ قياسات من خلال أجهزة حديثة (Palm 3x). يمكن توضيح عملية أخذ القياسات وما ستؤول إليه من تحديد بارامترات تسمح بتحديد شكل المغارة.
- تحديد نقاط متابعة ضمن المغارة تؤخذ فيها القياسات.
 - يتم في كل نقطة أخذ أبعادها عن حدود المغارة إلى اليمين واليسار والأعلى والأسفل.
 - يحدد في كل نقطة بالنسبة لنقطة أخرى مجاورة، المسافة بينهما والميل والانحراف للخط الواصل بينهما.
 - تقود هذه القياسات باستخدام برنامج يسمى سبيلوليتي (spelolity) بالحصول على البارامترات الموضحة في الجدول (3)، ومن ثم رسم مجسمات ثلاثية الأبعاد لأجزاء المغارة.
- 2-دراسات تحليلية شملت:
- a.** تحليل المعطيات من خلال البرمجيات المناسبة (Cave viewer)، (Gibson, 2001, Betts, 2004, Palmer, 2000, 1999, France, 2001).
- b.** ربط هذه الدراسات مع الدراسات الوصفية والجيوكارستية والجيولوجية للمغارة وصولاً إلى استنتاج النتائج.

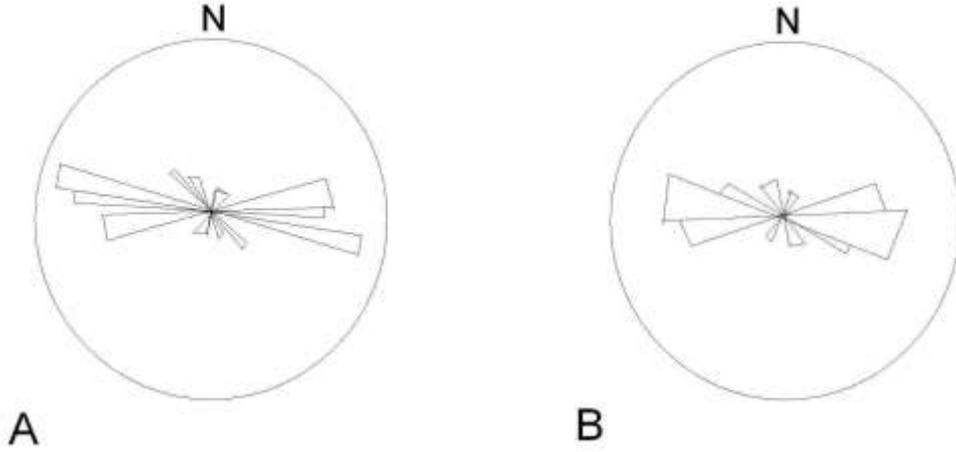
النتائج والمناقشة:

نستعرض فيما يلي نتائج الدراسات المنفذة في الحقل فيما يخص الماكرو- والميكرونتكتونيك والليتولوجيا، ووصف المظاهر الكارستية المميزة للمغارة، والدراسة الوصفية الجيوكارستية لأطوار المغارة المختلفة، وصولاً إلى اقتراح نموذج وصفي رقمي.

1 - دراسة حقلية جيولوجية.

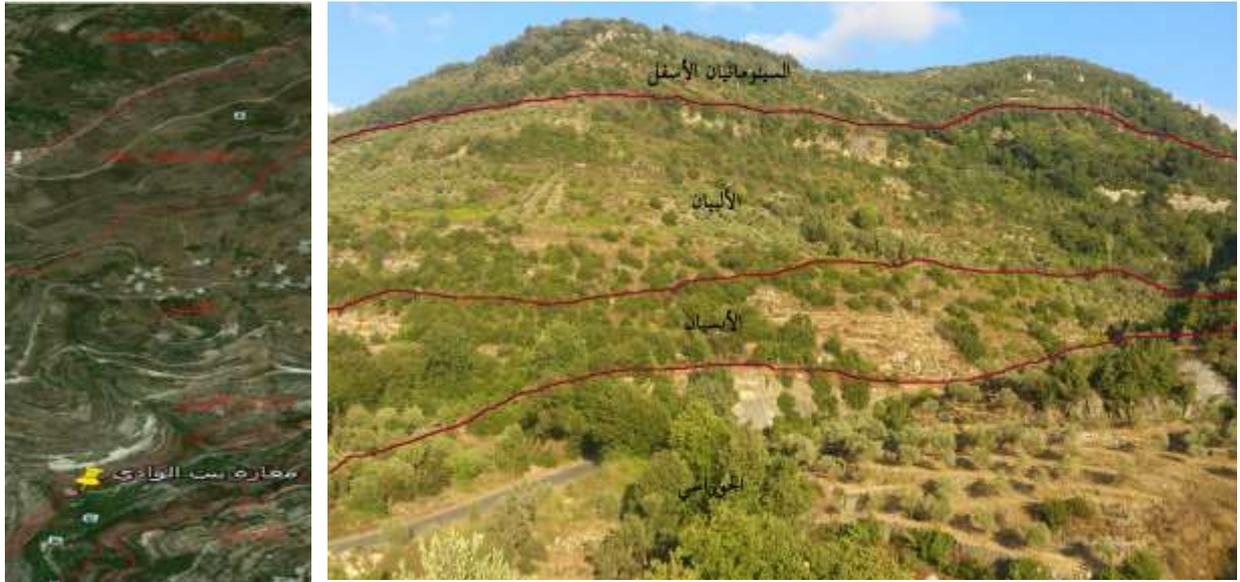
تركزت الدراسة الحقلية على دراسة الماكرو- والميكرونتكتونيك، وليتولوجية المغارة من خلال مسح جيولوجي تفصيلي يوضح العمود الطبقي لها تم تدقيقه بدراسات بتروغرافية وتحليل كيميائية لعينات صخرية من مختلف التشكيلات المميزة لها.

يلاحظ أثر التكتونيك في المغارة على شكل تشققات عينية ومجهرية بين طبقة آخذة اتجاهها عاماً شرق- غرب، تتوافق مع بعض الفوالق الواقعة في مدخل المغارة والتي ترى بالعين المجردة كما يبدو في الشكل (8 - ب)، تتميز برمبة محدودة (1 - 2 م). أجريت دراسة ميكرونتكتونية للتشققات في موقعين من مدخل المغارة. شملت الدراسة في الموقع الأول (61) قياساً، وإلى الداخل قليلاً على بعد (150 م) أجريت قياسات أخرى على (59) شقاً. حلت النتائج باستخدام برنامج (rock wear) وعرضت في الشكل (3). يتضح من وردتي الاتجاه للموقعين وجود اتجاه أعظمي للشقوق حسب الاتجاه شرق- غرب تقريباً. يتطابق هذا الاتجاه مع جريان المياه وحركتها السطحية والذي هو أيضاً اتجاه جريان النهر الذي يخترق المغارة. ودون أن يكون موضوع دراستنا جريان المياه الجوفي، باعتبار أن موضوعنا ينصب على الدور الذي تقوم به هذه المياه في الانحلال والانحلال الجزئي وتشكل المظاهر الكارستية بتكامل مع هذه الشقوق الماكرو- والميكروية التي تسمح لهذه المياه بالتغلغل فيها لتفعل فعلها وتؤدي إلى تشكل المظاهر الكارستية التي سوف نتوقف بالتفصيل عند وصفها في الفقرة التالية.



شكل (3)- وردتا اتجاه للميكروكتونيك: A (61 قياس) عند فوهة المغارة، B (59 قياس) في القسم الأوسط ضمن المغارة.

على صورة فضائية (شكل 4, يسار)، يمكن تتبع المقطع الليتولوجي لمغارة بيت الوادي حيث يتكشف الألبان، الألبان، بازلت الألبان، الألبان، السينومانيان الأسفل، بازلت البليوسين. والصورة الحقلية المرفقة تتطابق مع المقطع الحقلية الليتوستراتغرافي (الصورة إلى اليمين من الشكل 4).



شكل (4)- إلى اليسار صورة فضائية للمنطقة تبين موقع المغارة (Google earth. coastal area- Syria,2004)، وإلى اليمين في الأعلى مقطع ستراتغرافي لمنطقة الدراسة، وفي الأسفل صورة حقلية لمختلف التشكيلات الليتولوجية.

إذ يتكشف في الأسفل الألبان، المكون من تتاوبات بين المارل المدلمت الطري والحجر الدولوميتي القاسي، متوضعاً بعدم توافق فوق الجوراسي الأعلى المكون من الحجر الكلسي المدلمت. يتوضع فوق الألبان الألبان المكون من الحجر الكلسي والكلسي المدلمت، الذي يخترقه بازلت الألبان على شكل (Sills) بين طبقيه. إن هذا البازلت يميز طور التخامد في المغارة وهو بازلت قلوي فاسد، تحول إلى غضاربات مفككة متوضعة بشكل أفقي، مما أثر على حركة المياه بفعل كتومية هذه الطبقات وتظاهر ذلك بضعف تشكل المظاهر الكارستية عموماً. يعلو البازلت هذا من جديد

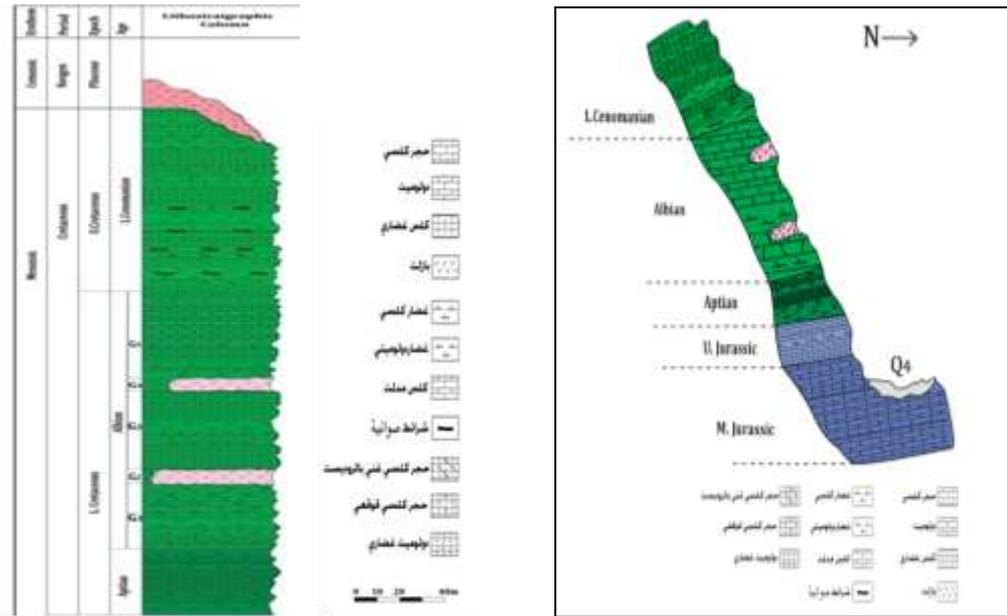
الألبان المكون من الحجر الكلسي والكلسي المدلمت، وهذه الليتولوجيا تكون مشققة وتسهل حركة المياه فتتشط العمليات الكارستية، وهو ما يميز طور الرشح والتسرب المائي. يكتمل العمود الطبقي بالسينومانيان الأسفل الذي ينكشف خارج المغارة وهو مكون من حجر كلسي ومارل ودلوميت. ويتوضع فوقه بعدم توافق بازلت البليوسين، وقد أسهم تواجد هذا البازلت في الحد من عمليات الكرسنة في المنطقة بشكل عام، حيث لعب دور الواقي ضد هذه العمليات (الشكل 5). تم تدقيق هذه الدراسة من خلال دراسة بتروغرافية جهرية ومجهرية لكامل المقطع الليتولوجي للمغارة واستمرارته خارجها مع تحاليلها الكيميائية (الجدولان 1، 2).

جدول (1) نتائج الدراسة البتروغرافية للعينات المسحوبة من المغارة وخارجها

رقم العينة	الموقع والطور	العمر الجيولوجي	التركيب البتروغرافي
1	خارج المغارة - أسفل الوادي	أبسيان	مارل أخضر مدلمت يميز الأبسيان في المنطقة الساحلية
2	خارج المغارة - أسفل الوادي	أبسيان	حجر دلوميتي قاسي
3	فوهة المغارة	ألبان	حجر كلسي يحوي بعض القواقع صغيرة الحجم
4	داخل المغارة - طور التغذية المائية المتواترة	ألبان	حجر كلسي مدلمت قليلاً
5	داخل المغارة- طور التخامد	ألبان	بازلت فاسد يتحول إلى غضار
6	داخل المغارة- طور الرشح والتسرب المائي	ألبان	حجر من بلورات الأراغونيت- ذات تبلور حلقي
7	خارج المغارة- من الأعلى	سينومانيان أسفل	حجر كلسي مدلمت تظهر عليه آثار الانحلال بوضوح
8	خارج المغارة	بليوسين	بازلت

جدول (2) نتائج التحليل الكيميائي للعينات الصخرية المدروسة بتروغرافياً

نوع العينة الصخرية	TiO ₂	SiO ₂	SO ₃	P ₂ O ₅	Na ₂ O	Mn ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	Al ₂ O ₃	L.O.I	الأكاسيد
مارل أخضر مدلمت	0.02	3.4	2.21	0.02	0.10	<0.02	16.37	0.26	0.79	31.89	2.41	42.27	1
حجر دلوميتي قاسي	0.01	3.47	<0.02	<0.02	0.23	<0.02	14.69	0.14	1.3	36.89	0.52	43.28	2
حجر كلسي	0.01	0.1	<0.02	<0.02	0.33	<0.02	2.02	0.02	0.02	52.91	0.79	44.53	3
حجر كلسي مدلمت قليلاً	0.03	1.28	0.74	0.02	0.08	<0.02	9.26	0.01	0.46	44.26	0.28	43.78	4
بازلت	1.84	43.17	___	0.38	2.46	0.17	8.96	0.43	14.45	8.25	14.17	5.57	5
أراغونيت	0.01	1.69	<0.02	<0.02	0.17	<0.02	2.01	0.07	0.16	51.16	0.64	43.56	6
حجر كلسي مدلمت	0.03	1.38	0.74	0.02	0.06	<0.02	10.24	0.01	0.88	42.24	0.46	44.26	7
بازلت	0.11	46.81	___	0.42	1.33	0.18	7.41	0.21	10.42	11.31	17.18	4.57	8



شكل (5) - إلى اليمين مقطع ليتوستراتغرافي، وإلى اليسار عمود ليتوستراتغرافي لمغارة بيت الوادي.

2 - المظاهر الكارستية المميزة للمغارة ومصادر المياه المولدة لها

تتنوع المظاهر الكارستية في المغارة بحيث تشمل النوازل والصواعد والأعمدة والبحيرات. وقد سمحت الدراسة الحقلية المعمقة بفهم هذه المظاهر وتقديم وصف دقيق وعلمي لهذه المظاهر.

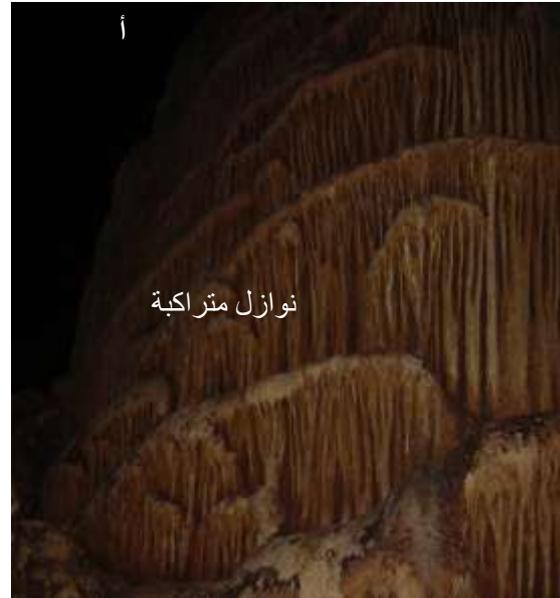
النوازل: تنتج النوازل عن الحركة البطيئة للمياه الراشحة، الغنية بشوارد كربونات الكالسيوم. تترسب هذه الشوارد نتيجة الجذب الكهربائي بين الماء والصخر، ونسب غاز (CO_2) في الوسط، والحرارة، وشروط أخرى، فتتبلور على شكل فلز الأراغونيت ذي التبلور السداسي. تنمو بلورات الأراغونيت من الأعلى باتجاه الأسفل، ومن الداخل باتجاه الخارج، مع وجود ثقب طولي ضمن النازل لتتحرك المياه عبره بفعل الجاذبية ضمنه.

تلعب شبكات الشقوق التكتونية المدروسة أعلاه (الفقرة 6 - 1) وفراغات الصخور الأخرى ، والمياه الراشحة والمتسربة عبرها دوراً هاماً في نوعية وحجم وموقع النوازل. فالعملية هي تكامل بين عمل كل من التكتونيك والمياه. فالتكتونيك يسهم في تصدع صخور جدران المغارة، وتصبح هذه الصدوع، إلى جانب الفراغات الأخرى، فيما بعد طرقاً وقنواتاً للمياه في النطاق غير المشبع. تتواجد النوازل بأشكال مختلفة منها:

- النوازل الأراغونيتية المتدلية من السقف ذات التبلور الحلقي، التي يصل طول بعضها إلى (12م).
- النوازل المتشكلة على الجدران الجانبية للمغارة ذات الأحجام الكبيرة (تصل حتى 35 م). يكون التبلور بشكل تراكمي متمنطق من بلورات الأراغونيت المختلفة في الأحجام (الشكل 6 - أ). حسب شروط بيئة تشكل النوازل، تتحول بعض النوازل الرطبة إلى جافة نتيجة انقطاع المصدر المائي المغذي.
- يوجد نوع من النوازل ذات العمر القصير والأبعاد القليلة، نتيجة عدم الالتصاق الجيد بالسقف، وتزايد حجم ووزن النازل تعمل قوى الجاذبية الأرضية على سقوط وتحطيم النازل، وهذا ما وجد على أرضية الغرفة.

الصواعد: تتشكل الصواعد، نتيجة تبلور شوارد كربونات الكالسيوم من الماء المتساقط من الأعلى، ضمن نفس شروط تبلور الأراغونيت في النوازل. إن مرور المياه المشبعة بالكربونات على سطح الصخر، يؤدي إلى جذب شوارد

الكربونات وتبلورها على شكل بلورات الأراغونيت، أي يكون النمو من الأسفل إلى الأعلى، ومن الداخل نحو الخارج (شكل 6 - ب).



شكل (6) - (أ) مظاهر كارستية ضمن الغرفة الكارستية الكبيرة: مظهر كارستي نازل جاف متراكب، (ب) مظهر كارستي يجمع بين النازل والصاعد، (ج) مظهر كارستي صاعد ذو مورفولوجيا بسيطة، (د) مظهر كارستي صاعد مشوب بأكاسيد الحديد ذو مورفولوجيا معقدة.

كما أشرنا في النوازل فإن للحركات التكتونية دوراً في تشكل الصواعد، ولكنه أقل من النوازل. تتواجد بأشكال مختلفة منها:

- الصواعد البسيطة ذات المصدر المائي الوحيد، وتأخذ شكلاً مخروطياً (شكل 6- ج).
- صواعد تراكبية متعددة المصدر المائي تأخذ أشكالاً معقدة (شكل 6- د). هناك أيضاً صواعد تنمو على حواف جدران الغرف بشكل متراكب، تتواجد ضمن هذه الغرف صواعد جافة، لانقطاع المصدر المائي عنها.

● **الأعمدة:** تتشكل الأعمدة بطريقتين: **الأولى** نتيجة استمرار نمو النازل من السقف حتى يلتقي بقاع الغرفة الكارستية، حيث تكون ذات مورفولوجيا بسيطة وغير معقدة. أما **الثانية** نتيجة استمرار نمو الصاعد باتجاه السقف حتى يلتقي بالمصدر المائي، وتكون مورفولوجيا العمود معقدة (شكل 7-أ). وقد تتداخل بعض المظاهر بعضها مع البعض لتكون أشكالاً خاصة معقدة من الترافرتان تميز المغاور عن بعضها.

● **البحيرات:** تتجمع المياه الراشحة ضمن المغارة على شكل بحيرات وبرك صغيرة الحجم، وقد تتابع المياه طريقها باتجاه الطبقات السفلى. تتشكل في البحيرات حواف من الأراغونيت تحجز خلفها المياه، فتتشكل بحيرات مائية متعاقبة، عبر فترات زمنية متتالية تتوافق زمنياً مع البحيرات المتشكلة (شكل 7-ب).



شكل (7) مظاهر كارستية ضمن المغارة: (أ) عمود كارستي، (ب) مظهر كارستي متراكب من النوازل وبحيرة ناتجة عن تجمع المياه الراشحة.

بالنسبة للمياه وهيدروليكيتهما ضمن المغارة، العامل الأساسي في الكارستية، فإن عمليات المسح الحقلية والمعطيات التي حصلنا عليها من المزارعين في المنطقة تفيد بأن المصدر الأساسي لهذه المياه هو الهاطل المطري إضافة إلى نبع السودة، بدليل أن غزارة جريان هذه المياه تشتد في موسم الشتاء، وتراجع في فترات التحاريق. كما أن غزارة نبع السودة تتراوح غزارته بين فترتي الغزارة والتحاريق بين (25-150 ل/د). يتدفق النبع من منطقة تماس البازلت البليوسيني المغطي للسينومانيان الأسفل، ويجري على السطح لمسافة لا تتجاوز (50 م)، ثم تغوص مياهه ضمن الأرض (Lastennet, et al 1997). بالمطابقة وإسقاط موقع المغارة على سطح الأرض، تبين أن مياه النبع الراشحة والمتسربة، تتحرك باتجاه القسم الثالث من المغارة، ضمن سماكة من النطاق غير المشبع لا تتجاوز (65 م). في الوقت الحالي يقوم الأهالي باستثمار مياه النبع لأغراض زراعية، وهذا يؤثر على نشاط وتطور العمليات الكارستية ضمن المغارة، وهذا دليل آخر على صوابية ما ذهبنا إليه بالنسبة لمصدر مياه المغارة.

3- دراسة وصفية جيوكارستية

من أجل إنجاز هذه الدراسة استخدمت في بادئ الأمر طرائق وقياسات Rantz, et al (1982)، وهي طرائق بدائية تعتمد على المشاهدة العينية في الحقل وتحويلها إلى أشكال ورسوم تعكس شكل المغارة وأبعادها التقريبية. ثم

استكملت بتقنيات متطورة تقيس معاملات رقمية، ويتم تحليل نتائجها باستخدام برمجيات متقدمة وخاصة برنامج سيبلوليتي الموضح في الفقرة (5).

تكونت المغارة، بالنظر إلى تنوع وتوزع المظاهر الكارستية، وليتولوجية الصخور الكربوناتيّة، وديناميكية المياه المتواجدة فيها طبقاً لتوصيف Lastennet, et al. (1997) خلال ثلاثة أطوار. إن التمايز بين هذه الأطوار تحدده معاملات عدة مثل: الليتولوجيا، والمظاهر الكارستية المتشكلة، والفراغات الصخرية الشقية والأم، وطبيعة حركة المياه ضمن المغارة (تغذية، رشح، تسرب، جريان، ...). وعليه فإن تمييز هذه الأطوار هو كلاً متكامل بمضمونه بمعزل عن التسميات المعتمدة.

1- طور التغذية المائية المتواترة: في هذا الطور تزداد الفتحة الخارجية، التي تبدأ بفوهة متضيقة، اتساعاً نحو الداخل على مدى (80م)، بارتفاع متباين من (1 إلى 6م). ويتميز هذا الطور بتشكيل كتل ضخمة من النوازل المترابطة تنمو من الشرق إلى الغرب (شكل 8 أ)، مؤدية إلى تضيق حوض المغارة. تكون النوازل رطبة، وترشح منها المياه عبر شقوق في الأعلى، تتناوب فيها فترات نشطة وضعيفة من التغذية بمياه محملة بالبكتريونات، المشكلة لبثورات الأراغونيت التي تنمط لتشكل الأجسام الضخمة من النوازل. ويفهم ذلك من خلال ليتولوجية الطبقات المكونة من الكلس الألبني المدلمت قليلاً والمشقوق، مما يسهم في هذه التغذية المائية، إضافةً إلى فوالق ذات اتجاه شمال جنوب، تسهم بشكل فعال في زيادة التغذية بالمياه الراشحة (شكل 8 ب). الأمر الذي يفسر التطور الشديد للمظاهر الكارستية.



شكل (8) - (أ) نوازل مترابكة في مقدمة المغارة من الأراغونيت تدل على جهة التغذية، (ب) نوازل من طرف المغارة تدل على وجود فالق يسهم بشكل فعال في تغذية المظاهر الكارستية ضمن المغارة.

2- طور التخادم: يكون الرشح في هذا الطور شبه معدوم، يتميز ببعض النوازل القليلة، التي تخلو في أجزاء كثيرة من الغرف الكارستية التي تشكلت في هذا الطور، مع ظهور لتوضعات بازلتية ألبانية فاسدة، تحولت إلى غضاريات وصخور شبه أفقية مفككة (شكل 9 أ). وهناك تظاهر ضعيف لبعض الصواعد والنوازل حديثة التشكل (شكل 9 ب)، وبعض الترب الحمراء. إن تخادم الرشح في هذا الطور يعزى إلى التوضعات البازلتية الفاسدة والغضاريات الكتيمة التي تعوق حركة المياه، وهو ما يفسر ضعف تطور المظاهر الكارستية فيه. يتظاهر التكتونيك في

هذا الطور بتطور مجموعة من الشقوق والفواصل البيئية في الغالب ذات اتجاه شمال - جنوب، يعزى إليها انفصال القطع الصخرية من السقف ووقوعها بشكل حجوم كبيرة يصل بعضها إلى الطن.



شكل (9) - (أ) كتل صخرية من الحجر الكلسي الغضاري المدلمت مع غياب واضح للصواعد، (ب) غرف شبه جافة تغيب النوازل من السقف ويلاحظ وجود صواعد صغيرة الحجم

3- طور التغذية بالرشح والتسرب المائي: تتغير الليتولوجيا في هذا الطور وتصبح أقل دلمتة وفقيرة بالغضاريات، وهي بيئة ملائمة للعمليات الكارستية، مع توافر المياه الراشحة والمنتسرية من الأعلى، فتكثر الصواعد والنوازل والأعمدة (شكل 10). وهذا ما يتوافق مع تركيب ليتولوجي مكون بشكل أساسي من حجر كلسي مشقق قليل الدلمتة وفقير بالغضاريات كما أسلفنا. أما مصدر المياه في هذا الطور فهو ما يرشح من المستويات العليا، أو من الحوض الصباب للنبع المائي الجوفي.



شكل (10) - (أ) مظاهر كارستية ضمن المغارة: مظهر كارستي نازل جاف (ميت)، (ب) مظهر كارستي نازل رطب (حي).

إن كل طور من هذه الأطوار يتوافق مع تشكل أقسام المغارة الرئيسية الثلاثة: الأول يتوافق مع طور التغذية المتواترة، والثاني يتوافق مع طور التخامد، والثالث يتوافق مع طور التغذية بالرشح والتسرب. تم قياس البارامترات الأساسية ضمن القسم الأول باستخدام جهاز (palm x3)، واختيار نقاط مواقع القياس، ثم قيست قيم زاوية الميل

والانحراف (الجدول 3)، وتمت معالجة المعطيات من خلال برنامج (Cave viewer)، وإظهار مجسم ثلاثي الأبعاد للأجزاء المدروسة ومن ثم للمغارة ككل (الشكل 11).

4 - اقتراح نموذج وصفي - رقمي

اعتماداً على الدراسة الوصفية السيلولوجية للمغارة، موضوع الدراسة، من خلال وصف أطوارها المختلفة، وإجراء قياسات لأبعاد المظاهر الكارستية فيها، باستخدام جهاز (Palm x3)، الذي تم توضيح منهجية العمل به في الفقرة (5). وتمت معالجة المعطيات باستخدام برنامج (Cave viewer)، تم وضع مجسم ثلاثي الأبعاد لكل طور، بالاعتماد على البارامترات المدروسة من خلال الدراسة الميدانية وتحليلها باستخدام أحدث المعطيات عن مثل هذه البنيات، ومن ثم اقتراح نموذج رقمي، يسمح بإسقاط الشكل الفراغي للمغارة. وهذه البارامترات المستخدمة هي:

ا. الميل

إ. الانحراف

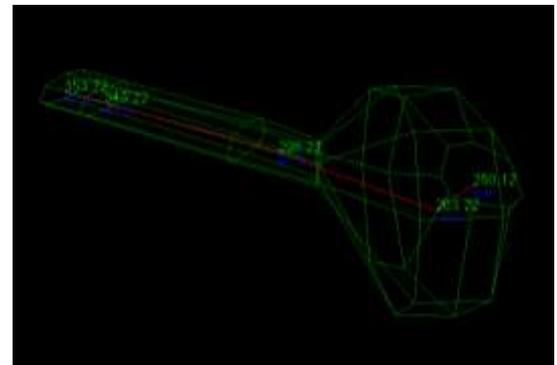
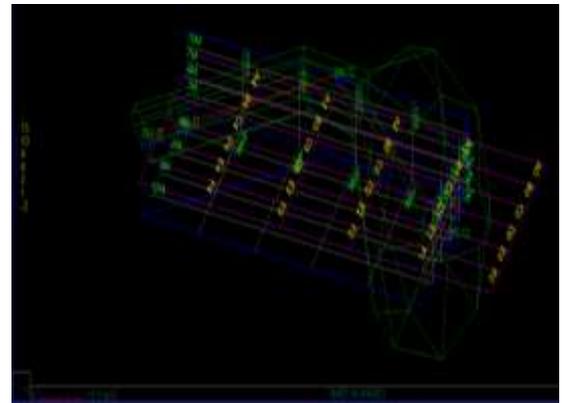
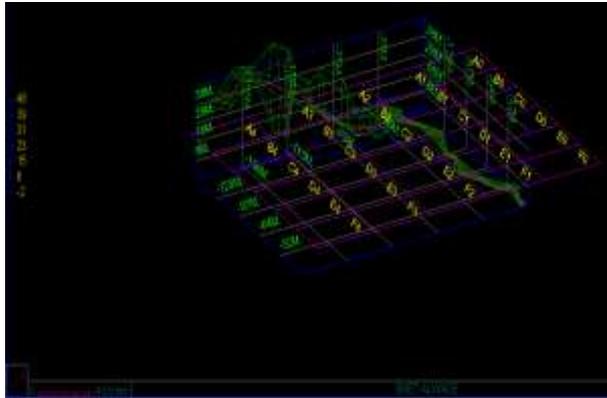
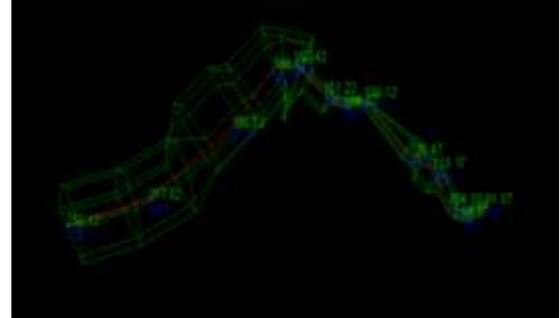
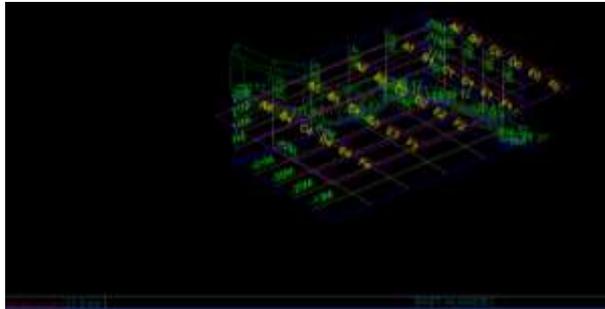
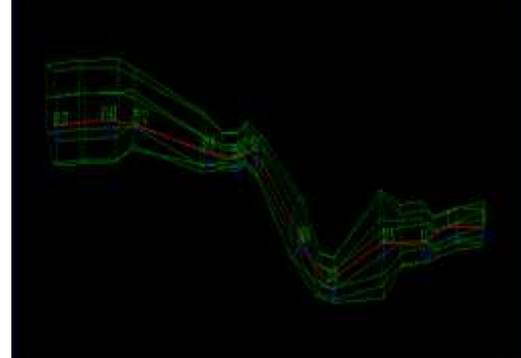
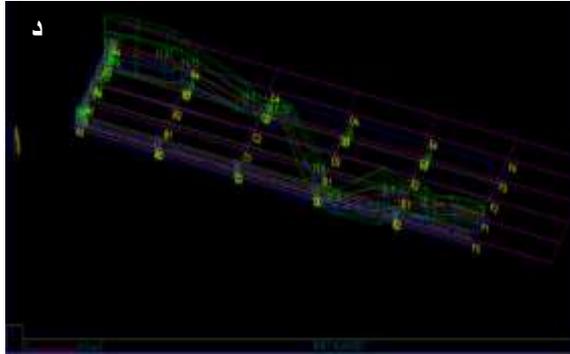
إ. قياس الأبعاد في كل نقطة (يمين - يسار - أعلى - أسفل)

بتحليل هذه البارامترات، باستخدام برامج (Cave Viewer - Spielolity)، أمكن الحصول على النتائج المبينة في الجدول (3)، التي تعكس بلغة رقمية الخصائص الوصفية لأطوار المغارة. وفي ضوء ذلك أمكن وضع مخطط عام ثلاثي الأبعاد للمغارة. يوضح شكل (11)، المجسمات ثلاثية الأبعاد لكل طور وللشكل العام.

الجدول (3) البيانات والمعطيات الأساسية لمغارة بيت الوادي مع تقسيماتها وأطوارها

Cave	Phase 1	Phase 2	Phase 3	General
Number Of Stations	12	13	5	29
Included Shots	12	12	4	28
Included Length	91.4 m	158.8 m	103.6 m	353.7 m
Horizontal Length	90.6 m	148.9 m	100.5 m	340.0 m
Cave Depth	2.7 m	34.5 m	14.2 m	49.8 m
Surface Length	81.5 m	63.4 m	35.7 m	161.1 m
Surface Width	20.4 m	102.5 m	81.5 m	200.7 m
Surface Area	1666.4 m ²	6496.8 m ²	2906.2 m ²	32332 m ²
Enclosed Volume	4480.9 m ³	223985.4 m ³	41372.5 m ³	1610295.5 m ³
Cave Volume	1756.9 m ³	23901.4 m ³	67959.6 m ³	93617.8 m ³
Average Diameter	4.4 m	12.3 m	25.6 m	16.3 m
Wall Area	1511.2 m ²	6957.5 m ²	9212.6 m ²	17681.3 m ²
Floor Area	370.8 m ²	1839.1 m ²	2411.1 m ²	4621.0 m ²
% Volume Density	39.21	10.67	16.26	5.81
Average Inclination	7.0 Deg	16.8 Deg	9.0 Deg	12.0 Deg
Difficulty	9.5	15.7	8.4	11.3
Highest Station	0.6 m	34.5 m	12.6 m	47.7 m
Lowest Station	-2.1 m	0.0 m	-1.6 m	-2.1 m
North Most Station	5.0 m	0.0 m	0.0 m	5.0 m
South Most Station	-15.5 m	-102.5 m	-81.5 m	-195.7 m
East Most Station	0.0 m	0.0 m	19.5 m	0.0 m
West Most Station	-81.5 m	-63.4 m	-16.2 m	-161.1 m
Furthest Station	91.4 m	158.8 m	103.6 m	353.7 m

Average Shot Length	8.3 m	13.2 m	25.9 m	13.1 m
Longest Shot	13.5 m	32.3 m	45.0 m	45.0 m
Shortest Shot	3.6 m	4.5 m	10.5 m	3.6 m



شكل، (11)- مجسم ثلاثي الأبعاد لأطوار المغارة الثلاثة من الأعلى إلى الأسفل تباعاً، وفي الأسفل مجسم عام للمغارة.

الاستنتاجات والتوصيات:

تكتسب هذه الدراسة بنوعيتها وخصوصيتها أهمية كبرى، إذ تتناول دراسة المظاهر الكارستية لبنية مغارة بيت الوادي في المنطقة الساحلية. وذلك بتكامل بين التكتونيك المتمثل بالفوالق والشقوق والمياه التي تتسرب عبر تشققات الصخور وفراغات مؤدية إلى انحلالها وتشكل المظاهر الكارستية، كنموذج عن هذه المظاهر في المنطقة الساحلية، وتمييز الأطوار الرئيسة التي مرت بها المغارة. وقد سمحت هذه الدراسة بالتوصل إلى الاستنتاجات والتوصيات التالية:

- تعتبر الصخور الكربوناتية العائدة للألبان بيئة جيدة لانتشار المغاور والمظاهر الكارستية الأخرى.
- ميزت المغارة جيومورفولوجياً وليتولوجياً وسيلولوجياً إلى ثلاثة أقسام، بمواصفات جيولوجية وكارستية لكل منها.
- تم تصنيف المظاهر الكارستية ضمن المغارة، من النوازل البسيطة والمتراكبة، والصواعد البسيطة والمتراكبة على شكل هرم، والتي قد تتطور إلى أعمدة. والبحث في طرق تشكلها وتطورها.
- تم توضيح التكامل بين عمل التكتونيك والمياه وتحديد اتجاه جريان المياه تبعاً للتوجه الأعظمي لتشققات الصخور، كما تم تحديد النهر الجوفي الذي يمر من المغارة السفلية المصادر السطحية المغذية للمياه.
- تمت دراسة العلاقة بين الليتولوجيا والمظاهر الكارستية ضمن المغارة، مما سمح بتمييز أطوار المظاهر الكارستية وفاعلية تشكلها.

• تم اقتراح نموذج رقمي باستخدام بارامترات حقلية، ثم تحليلها برمجياً، مما سمح بإلقاء الضوء على أطوار المغارة الثلاثة، ومن ثم نموذج عام للمغارة. يمثل هذا النموذج دليلاً نموذجياً لدراسات مستقبلية في سوريا وغيرها، وهذا يعد نتيجة غير مسبوقة.

أما التوصيات فتتلخص بما يلي:

- إجراء المزيد من القياسات الجيوفيزيائية، وخاصة باستخدام الطرائق الكهربائية منها، لمعرفة إمكانية وجود امتدادات للمغارة وتأثير التكتونيك عليها.
- الاستثمار الأمثل للينابيع والنهر الجوفي الذي ينبع من داخل المغارة، والحفاظ على مصادر المياه هذه من التلوث.
- القيام بدراسات لتأهيل المغارة للاستثمار السياحي، لما تمتلكه من جمالية طبيعية هامة.

المراجع:

- تريفينوف. ف. ج.، عجميان، ج. (1991) نطاق الصدع المشرقي في شمال غرب سوريا | جيوتكتونيك (بالروسية)، رقم 2 ص 63 - 75.
- المديرية العامة للأرصاد الجوية (2000 - 1963) - تقرير الهاطل المطري ، محطة صافيتا.
- مديرية حوض الساحل (1979). التحريات والدراسات الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية. تقرير منشور ص 67-72.
- يوسف، ر. (2008)، دراسة الكارست وأهم انعكاساته الاقتصادية والهيدروجيولوجية (المنطقة الساحلية- صافيتا)، أطروحة ماجستير، جامعة دمشق، 135 صفحة .
- يوسف، ش. وآخرون (1980) - المذكرة الإيضاحية لرقعة صافيتا وطرطوس، المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية. ص 35-38.

- Abdalla,A. (2008)- Evolution Tectonique de la Plate-forme Arabe en Syrie depuis le Mésozoïque.These, UPMC, Paris. 302p.
- Al-Husseini, M.I. (2000)- Origin of the Arabian plate structures-Amar Collision and Najd -Rift: GewoArabia, 5, pp.527–542.
- Betts, O. (2004)- The Survex project [On-line]. Available: <http://www.survex.com>.
- Blanckenhorn, M. (1891)- Grundzuge der geologie und physikalischen geographie von nordsyrien . Eine geologisch-geographische Skizze, Berlin.
- Bonacci, O. (1987)- Karst hydrology with special reference to the Dinaric karst. New York: Springer, 184 p.
- Brew G.,Best J., Barazangi M and Sawaf T.(2001) –Tectonic and geologic evolution of Syria GeoArabia,6 ,4 ,pp 573-616.
- Gomez F.,Khawlie M., Tabet C.,Darkal A.N.,Khair K. and Barazangi M (2006) - Neotectonic of northern Dead Sea fault system in Lebanon and Syria based on SAR imagery and high resolution DEM data.Earth Planet. Sci.Lett.241,pp 913-931.
- Chorowicz, J.,DHONT, D. ,Ammar, O. Rukieh, M. and Bilal, A. (2005)-Tectonics of the Pliocene Homs Basalts (Syria) and implications for the Dead Sea Gault Zone Activity of the geological Society, London, Vol 162, - pp 259- 271.
- Cvijic, J. (1918)- Hydrographie souterraine et evolution morphologique du karst. Hydrographie souterraine et evolutionmorphologique du karst, 6(4), 375–426.p p.
- Cvijic, J. (1925)- Types morphologiques des terrains calcaires.Comptes Rendus, Académie des Sciences (Paris), 180, 592,757.
- Dreybrodt, W. (1988)- Processes in karst systems – physics, chemistry and geology. Heidelberg, New York: Springer, 288 p.
- Dreybrodt, W. (1996)- Principles of early development of karst conduits. Water Resources Research, 32, pp. 2923–2935.
- Dubertret, L. (1937)- Le massif Alaouite. Notes et Mémoires sur le Moyen-Orient, 2 , pp.9-42.
- Dubertret ,L. (1941 – 1943)- carte geologique de la Syria et du Liban au 1:1000 000, 2 ed., Beyrouth, Liban.
- Dubertret , L. (1963)- Lexique Stratigraphique international. Vol. 3, Asie, Fascicule 10 cl, Liban, Syria, Jordanie, CNRS, 3 quai Anatole France,Paris.
- Ford, D. C. & Williams, P. W. (1989)- Karst geomorphology and hydrology. London: Chapman & Hall, 601 p.
- Ford, D. C. & Williams, P. W. (2007)- Karst hydrogeology and geomorphology. Wiley & Sons, 448 p.
- France, S. (2001)- Cave surveying by radio location. Cave radio and electronics group journal, 44, 21–23.
- Harmon, R. S. and Wicks C. M. (eds.), (2006)- Perspectives on Karst Geomorphology, Hydrology, and Geochemistry – A Tribute Volume Derek C. Ford and William B. White: Geological Society of America Special Paper, 404 p.
- Jones, B. and MacDonald, R.W. (1989)- Micro-organisms and crystal fabrics in cave pisoliths from Grand Cayman, British West Indies: J. Sediment. Petrol. 59, pp. 387–396.
- Gibson, D. (2001)- Cave surveying by radio location. Cave radio and electronics group journal, 43, 24–26.
- Keys, W. S. (1990)- Borehole geophysics applied to ground-water investigations. US Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigation, Book 2, 150 p.

- Kiraly, L. (1975)- Rapport sur l'état actuel des connaissances dans le domaine des caractères physiques des roches karstiques. In Burger, A. & Dubertret, L. (Eds.), Hydrogeology of karstic terrains (pp. 53–67). IAH, International Union of Geological Sciences, Series B, 3.
- Kiraly, L. (1988)- Large-scale 3D groundwater flowmodeling in highly heterogeneous geologic medium. In Custodio (Ed.), Groundwater flowand quality modeling, pp. 761–775.
- Klimchouk, A. B., Ford, D. C., Palmer, A. N. & Dreybrodt, W. (Eds.) (2000)- Speleogenesis, evolution of karst aquifers. Huntsville, Alabama, USA: National Speleological Society, Inc., 527 p.
- Lastennet, R. & Mudry, J. (1997)- Role of karstification and rainfall in the behavior of a heterogeneous karst system. Environmental Geology, 32, 114–123.
- Palmer, A.N. (1991)- Origin and morphology of limestone caves. GSA Bulletin, 103, 1–21.
- Palmer, A., Palmer, V. & Sasowsky, I. (1999)- Karst Modeling. SP 5, Karst Water Institute, Akron Ohio, 265 p.
- Palmer, A. N. (2000)- Digital modeling of individual solution conduits. In Klimchouk, A., Ford, D. C., Palmer, A. N. & Dreybrodt, W. (Eds.), Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers, pp. 194–200. Huntsville, Alabama, USA: National Speleological Society.
- Ponikarov, V.P. (1966)- The Geology of Syria. Explanatory Notes on the Geological Map of Syria, Scale 1:200,000. Ministry of Industry, Damascus, Syrian Arab Republic.
- Ponikarov, V.P. (1967)- The Geology of Syria. Explanatory Notes on the Geological Map of Syria. Scale 1:500 000 , Part 1 Stratigraphy, Igneous Rocks and Tectonics. Ministry of Geology, Russia.
- Quennell, A. M. (1984)- The western Arabia rift system , in Dixon J. F. and Roberston A.H.F. , eds. , The geological evolution of the eastern Mediterranean : 1984 . Oxford , Blackell scientific publications pp. 775 – 788
- Rantz, S. E., and others (1982)- Measurement and computation of stream flow, volume 1, measurement of stage and discharge. US Geological Survey Water Supply Paper 2175, 313 p. (note: the 16 other major contributors to this publication are listed in its preface).
- Walley C.D(2001)-The Lebanon massive margin and the evolution of the Levantine Neothtys. Mem.Mus.Nat.Hist.Nat.Paris,86,pp 407-439.