

تأثير العمليات التحويرية على تطور مسامية الصخور المكمنية لتكوين قره جيني في شمالي

وشمال غربي العراق

عبد العزيز محمود الحمداني*، محمد سليمان علي**، مهى منيب الدباغ*

* قسم علوم الأرض، كلية العلوم، جامعة الموصل

** وزارة النفط، شركة الاستكشافات النفطية، بغداد

الملخص:

وصف البحث الحالي العمليات التحويرية ونتائجها وكيفية تأثيرها على مسامية تتابعات تكوين قره جيني. واختيرت اربعة ابار نفطية تقع في شمالي وشمال غربي العراق، تمثلت هذه الابار ب: قند (Kd -1) وعين زالة (AZ-29) وبطمة (Bm-15) وعلان (Aa-2). وقد أظهرت الدراسة البتروغرافية أن للعمليات التحويرية تأثير كبير على الخصائص البتروفيزيائية لتعاقبات التكوين، لا سيما المسامية والنفاذية. وتعد السمنتة والانضغاط والاحلال واعدة التبلور من العمليات الرئيسية التي ادت الى إختزال المسامية. في حين تعتبر عمليات الدلمتة والاذابة واحيانا اعادة التبلور من اهم العمليات التي ادت الى زيادة وتحسين المسامية. واعتماداً على تصنيف [1] لأنظمة مسامية الصخور الكربونائيتية، فقد قسمت مسامية تكوين قره جيني الى مجموعتين أساسيتين، هما: بين الجسيمية (بين الحبيبية وبين البلورية) والفجوية. قسمت الفراغات المسامية بين الجسيمية الى ثلاث رتب بتروفيزيائية تبعا الى الحجم الحبيبي والفرز. تعد الرتبة الاولى من اقل الانسجة شيوعا ضمن مقاطع الدراسة الاربعة، في حين تعد الرتبة الثانية اكثر شيوعا واهمية نتيجة لاحتوائها على المواد البتيومينية. وعلى الرغم من ان الرتبة الثالثة هي الأكثر شيوعاً الا أنها اقل أهمية من الناحية المكمنية ما عدا المتدلمتة منها. أما المسامات الفجوية فقد قسمت الى نوعين اساسيين تبعا لكيفية اتصالها مع بعضها: الفجوية المنفصلة والفجوية المتلامسة. وتعد المسامات القالبية وداخل الحبيبية هي اكثر المسامات الفجوية المنفصلة وفرة ضمن تتابعات التكوين. اما المسامات الفجوية المتلامسة فقد تمثلت بمسامية الكسور بنوعها الكبيرة والدقيقة واللوزية.

Abstract:

This paper describes the diagenetic processes, its products and how affected on porosity of succession of Kurra Chine Formation. Four oil wells selected in northern and north eastern Iraq, which are represented by: Jabal Kand (JK-1), Ain Zalah (AZ-29), Butmah (Bm-15) and Alan (Aa-2). Petrographic study shows that the diagenetic processes have a large effect on petrophysical properties of formation successions, especially porosity and permeability. Cementation, compaction, replacement and recrystallization are main processes to porosity reduction. About the enhancement of porosity, dolomitization, dissolution and sometime recrystallization are considered the main diagenetic processes to increase the porosity. According to the Carbonate pore systems classification of [1], porosity in Kurra Chine Formation was divided into two main groups: Interparticle (intergrain and intercrystal) and vuggy pores. Dependence on particle size and sorting, the Interparticle pore

space is subdivided into three petrophysical classes. Class1 is the least common fabric in the four section study while class2 is common and very important because it contains bituminous material. Class3 is very common but have lowest reservoir Importance, except that dolomitized. Vuggy porosity is subdivided into two types depended on how the vugs are interconnected: separate vug and touching vug. Moldic and intragrain pores are the most abundant of separate vug pores within formation successions. Touching vug pores represented by fractures, microfractures and fenestral.

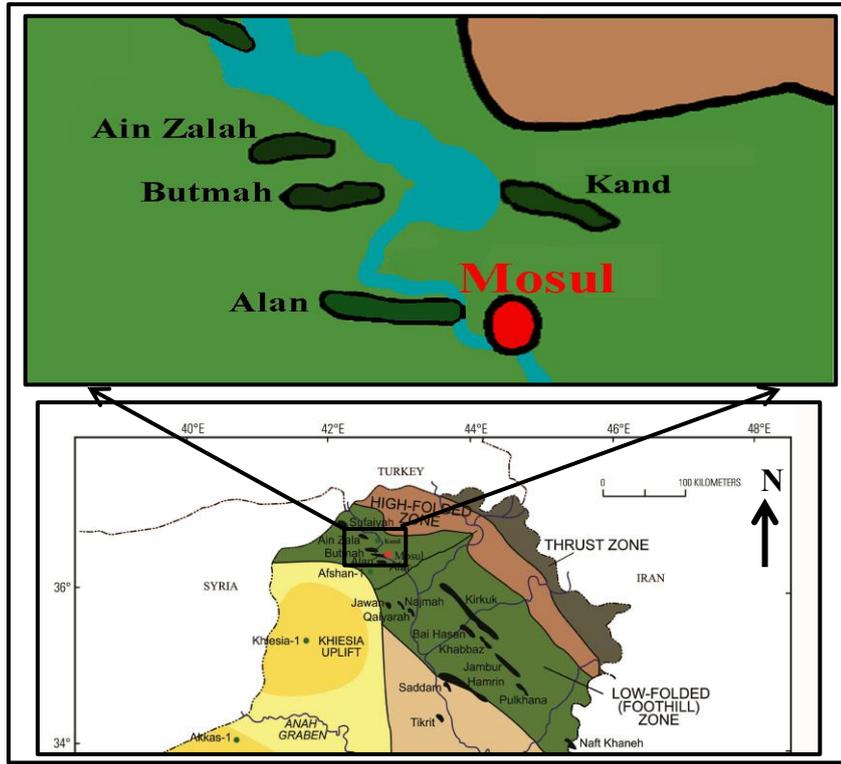
المقدمة:

يعد تكوين قره جيني (Late Triassic) من أوسع تكوينات العصر الترياسي انتشاراً، حيث تنتشر تتابعاته في الأجزاء الوسطى والشمالية من العراق. ويمتلك التكوين من الخصائص ما يجعل تتابعاته تحت السطحية من الصخور المكمنية المهمة في مناطق شمالي وشمال غربي العراق. إذ تتألف تتابعات هذا التكوين من تعاقب طبقات الحجر الجيري والحجر الجيري المتدلتمت والدولومايت والانهايدرايت/الجسوم وبعض الألسنة السجيلية، فضلاً عن الطبقات الشبيهة بالبريشيا المتكونة بفعل إذابة المكونات الجبسية [2]. تتسم مثل هذه الصخور عادة بحساسيتها الشديدة للعمليات التحويرية والتي تؤثر بدورها على الخصائص المكمنية للتكوين، ولاسيما البتروفيزيائية منها وبالتالي تحديد نوعية المكمن.

نظراً لقلة الدراسات السابقة المرتبطة بالخصائص البتروفيزيائية لمكمن تكوين قره جيني وتحديد نظامه المسامي، فإن البحث الحالي يركز أولاً على تحديد ماهية الأسباب الرسوبية التي أدت الى تحسين القدرة الاستيعابية لخرن المواد الهايدروكاربونية ضمن تتابعات التكوين، فضلاً عن تحديد النظام المسامي فيما إذا كان رسوبي المنشأ ام تحويري أم أنه هجين ما بين النوعين. وتشخيص أهم العمليات التحويرية المؤثرة على مسامية تتابعاته الكربونائيتية وانعكاسها على نوعية المكمن. ثانياً تصنيف المسامية طبقاً للمفاهيم البتروفيزيائية الحديثة. ولتحقيق ذلك اعتمد البحث على الدراسة البتروغرافية لشرائح التكوين الرقيقة والمعدة معظمها من الفتات الصخري، فضلاً عن المقاطع اللبابية المتاحة.

موقع منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة في شمال وشمال غربي مدينة الموصل، حيث اقتصر المقاطع المختارة على أربعة حقول نفطية مخترفة لتكوين قره جيني وبواقع بئر لكل حقل. وهذه الآبار هي: قند (Kd-1) وعين زالة (AZ-29) وبطمة (Bm-15) وعلان (Aa-2). أما تكتونياً، فإن جميع هذه الآبار تقع، وتبعاً لتقسيمات [3]، ضمن نطاق أقدام الجبال (Foothill Zone) كما في الشكل (1).



شكل (1) خريطة تبين منطقة الدراسة ومواقع الآبار المختارة جغرافياً وتكتونياً

العمليات التحويرية وتأثيرها على المسامية:

نظراً لحساسيتها الشديدة للعمليات التحويرية فإن الصخور الكربونائيتية والمتبخرايتية العائدة لتكوين قره جيني تنسم بتحورها الشديد، إذ تكاد لا تخلو أي شريحة منها من مظهر أو أكثر من المظاهر التحويرية. حيث تؤثر هذه التحويرات على الخصائص المكمنية للتكوين، ولا سيما البتروفيزيائية منها. وفيما يلي سرد مفصل لهذه العمليات ومدى تأثيرها على مسامية سحنات التكوين:

1- المكرتة:

شُخصت آثار المكرتة ومعالمها ضمن العديد من شرائح تكوين قره جيني. وتعد المكرتة الكلية للقطع الحياتية من أكثر الظواهر شيوعاً ضمن سحنات التكوين. فهي تؤدي إلى تكوين ما يعرف بالمتدملقات (Pellitoid)، وبالتالي صعوبة تشخيص عانديتها (اللوحة 1-A). كما تؤدي المكرتة إلى تكوين الأغلفة الميكرايتية الداكنة التي تحيط بأنواع مختلفة من الحبيبات الكربونائيتية، لا سيما السرثيات والقطع الحياتية مكونةً بذلك الحبيبات المغلفة (اللوحة 1-B). يعتقد أن لعملية المكرتة تأثير سلبي على المسامية، إذ أنها تقلل من احتمالية تعرض هذه الحبيبات للإذابة وتكوين المسامية الثانوية، لا سيما تلك المتكونة من الأراكونايت والكالسايت العالي المغنيسيوم. فعلى الرغم من أن الأحياء الحافرة للحبيبات المختلفة تعمل على زيادة المسامية داخل الحبيبة (Intragranular)، إلا أن هذه الحفر سرعان ما تتعرض للسمنتة بالكالسايت الميكرايتي الغني بالـ (Mg) [4].

2- السمنتة:

يلاحظ شدة تأثير سحنات تتابعات تكوين قره جيني العائدة للبيئة بين المدينة بمختلف أنواع السمنتة من أمثال:

السمنت الكربوناتي والسمنت المتبخرايتي، وأحيانا السمنت السليكي. ان المسامية تقل بشدة أو تنفقد في صخور مثل هذه البيئات العالية الطاقة وذلك بسبب ازدياد السمنتة فيها والتي قد تحيلها إلى صخور غطائية (Cap Rocks) [4]. وفيما يلي وصف لأنواع السمنتة المشخصة في تكوين قره جيني، وذلك تبعاً لشيوعها:

أ- السمنت الكربوناتي:

يترسب السمنت الكربوناتي على هيئة أطوار معدنية مختلفة. ومن أهم الأطوار المشخصة ضمن سحنات تكوين قره جيني، هي: الكالسايث الاعتيادي والدولومايت وربما الكالسايث عالي المغنيسيوم. وفيما يلي وصف لأهم أنواع السمنت الكربوناتي المشخص في التكوين بأستثناء الدولومايتي الذي سيتم شرحه لاحقاً في بند الدلمتة:

1. السمنت الميكرايتي:

يظهر هذا النوع من السمنت على هيئة بلورات ميكرايتية الحجم مؤلفة من الكالسايث عالي المغنيسيوم، مكونة غطاءً داكناً رقيقاً (2-5 μm) ومنتظماً حول الحبيبات أو تملأ المسامات بين الحبيبية. ويقتصر ظهور هذا السمنت على أعماق محددة من مقطع بئر عين زالة ضمن بعض سحناته الغنية بالحبيبات الدمليّة والهيكلية. ويلاحظ ان السمنت المتبخرايتي يلي السمنت الميكرايتي المغلف للحبيبات الهيكلية ليملاً المسامات بين الحبيبية (اللوحة 1-D).

2. السمنت الحبيبي:

يتألف السمنت الحبيبي من بلورات كالسايثية موزائكية متساوية الأبعاد تملأ غالباً الفراغات بين الحبيبية. وقد شُخص هذا السمنت في السحنات الدقيقة الواكية والمرصوفة لتكوين قره جيني، إما مائلاً للفجوات أو كطور ثاني بعد السمنت المتساوي السمك في المسامات القالبية وبين الحبيبية (اللوحة 1-C). وتمتاز بلورات هذا السمنت بكونها عديمة إلى ناقصة الأوجه وذات تماسات مستقيمة إلى شبه منحنية.

3. السمنت المتساوي السمك:

شُخص هذا النوع من السمنت ضمن سحنات التكوين الواكية والمرصوفة حول بعض الحبيبات أو على بطانة حجيرات الأصداف. وقد تحيط البلورات اللوحية لهذا السمنت أصداف الرخويات والقطع السريئية أو قد تبطن مساماتها الداخلية، ويليه أحيانا وبتماسات حادة السمنت البلوكي أو الدروزي (اللوحة 1-D,F).

4. السمنت البلوكي:

شُخص هذا النوع من السمنت ضمن العديد من شرائح التكوين، وضمن تتابعاته المختلفة، مائلاً للكسور وبعض القوالب الهيكلية، ويتألف من بلورات متوسطة إلى خشنة ذات حدود مستقيمة أو غير منتظمة (اللوحة 1-E).

5. السمنت الدروزي:

يملاً السمنت الدروزي الفراغات بين الحبيبية أو القالبية الهيكلية أو الكسرية. ويمتاز ببلوراته الكالسايثية العديمة إلى الناقصة الأوجه والمتزايدة في حجمها باتجاه مركز المسام. ورصد هذا النوع من السمنت ضمن اجزاء من تتابعات التكوين السفلى والوسطى في الآبار الاربعة (اللوحة 1-F).

ب- السمنت الانهايديرايتي / الجبسومي:

ينتشر السمنت المتبخرايتي ضمن معظم تتابعات التكوين السفلى والوسطى في كل المقاطع المختاره، وتقل نسبته باتجاه التتابعات العليا منه. ويتخذ هذا السمنت في عينات التكوين أنسجة مختلفة، حيث يملأ العديد من المسامات القالبية والكسرية واللوزية وبين الحبيبية وبين البلورية، لاسيما تلك المترافقة مع الدولومايت. وقد يظهر الانهايديرايت لوحده أو قد يترافق أحياناً مع الجبسوم. وفيما يلي أهم الأنسجة المتبخرايتية السمنتية المشخصة في عينات تكوين قره جيني:

1-السمنت البلوكي:

يتألف هذا السمنت من بلورات شفافة نسبياً متساوية الأبعاد، ناعمة إلى خشنة التبلور قد تصل إلى عدة مليمترات. يظهر السمنت على هيئة بلورة خشنة واحدة تشغل كل الفراغ أو بلورات متعددة ناقصة إلى كاملة الأوجه (اللوحتين: I-B,G). وقد يملأ السمنت البلوكي الفراغات كطور ثاني بعد السمنت الكاربوناتي، ولاسيما الدولومايتي الذي يبطن المسامات. وبذلك، يعتقد أنه قد تشكل في مراحل تحويرية متأخرة بعد الدفن، أي بعد عمليات تكوين الستايولايت والدمتة وتكوين الكسور. إذ يلاحظ أن العديد من هذه الكسور القاطعة لعروق الستايولايت قد امتلأت بالانهايدرايت. وتملأ بلورات أخرى كلياً أو جزئياً المسامات بين الحبيبية والقالبية، لا سيما تلك العائدة للسرئيات.

2-السمنت اللوحي:

يتميز هذا السمنت ببلوراته اللوحية الطولية والكاملة الأوجه، والناعمة إلى خشنة التبلور. تترتب هذه البلورات بصورة موازية لبعضها البعض أو تكون عشوائية الترتيب، وقد تتخذ أحياناً شكل المروحة. ويتوارد هذا السمنت بشكل أقل من النوع الأول، إلا أن الجبسوم يترافق معه بنسبة أكبر (اللوحة H-1).

عموماً، تؤدي عملية السمنتة في مراحلها المختلفة إلى نقصان المسامية. إذ تبدأ المسامية بالانخفاض منذ لحظة ترسيب السمنت المتساوي السمك في النطاق البحري الجوفي على هيئة حلقة حول الحبيبات. كما ان ترسيب السمنت البلوكي في المراحل المتأخرة يعمل على غلق المسامات المتبقية. وبذلك تفقد الصخرة أهميتها المكمية، لا سيما تلك الغنية بالمسامات بين الحبيبية و/ أو بين البلورية الثغرية والكسرية. إذ تتسم هذه المسامات عادة باتصالها مع بعضها البعض معززةً بذلك نفاذية الصخرة. إلا ان ترسيب السمنت بأنواعه المختلفة يقف عائقاً أمام خزن المواد الهايدروكاربونية. وعلى الرغم من توارد السمنتة في كل الابار قيد الدراسة إلا أنه كان لبيئر عين زاله النصيب الأكبر، وهذا ما يفسر ندرة مشاهدة المواد الهايدروكاربونية فيه.

3- التشكل الجديد:

تشمل هذه العملية كل من عمليتي: إعادة التبلور والانقلاب. ويحدث التشكل الجديد نتيجة لتغير الظروف البيئية من بحرية الى جوية غير مشبعة بكاربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) لفترة زمنية قليلة نسبياً، حيث تتبدل خلالها الحبيبات المؤلفة من المعادن غير المستقرة الى أطوار أكثر استقراراً. وتزيل بذلك كل تراكيبيها الداخلية باستثناء حافاتها [5]. وقد شحص البحث الحالي توارد كلتا العمليتين في سحنات تكوين قره جيني لتشمل كل من الأرضية وبعض الحبيبات كالسرئيات وبعض الحبيبات الهيكلية.

يظهر تأثير عملية إعادة التبلور بشكل أساسي في الحشوة الميكرايتية للسحنات الطينية الدعم، مغيراً إياها إلى السبار الدقيق أو إلى الكالسايت السباري الموزائكي وبأبعاد بلورية مختلفة، مع احتفاظها بتركيبها الكيميائي. وبذلك، يلاحظ وجود بقع ميكرايتية صغيرة ضمن السبار الدقيق أو عند تماسات البلورات الكالسايتية السبارية.

أن عملية إعادة التبلور الحقيقية تحدث عندما تذاب بلورات الكالسايت الصغيرة جداً ليعاد ترسيبها على هيئة بلورات سبارية ذات أشكال جديدة [7, 6]. واستنتج [8] ان عملية الاحلال هي المسؤولة عن تطور الرواسب الميكرايتية الى سبارية دقيقة وليس هناك ما يدعم حدوث السمنتة. وتؤدي هذه العملية الى زيادة كل من الحجم البلوري وحجم فوهة المسامات والذي له تأثير قوي على زيادة النفاذية عشرات المرات بدون حدوث تغير مهم في المسامية كما في الشكل (2). كما ان عملية السمنتة تحدث لاحقاً على هيئة نمو فوق للبلورات السبارية الدقيقة ما يؤدي الى نقصان

المسامية [8].

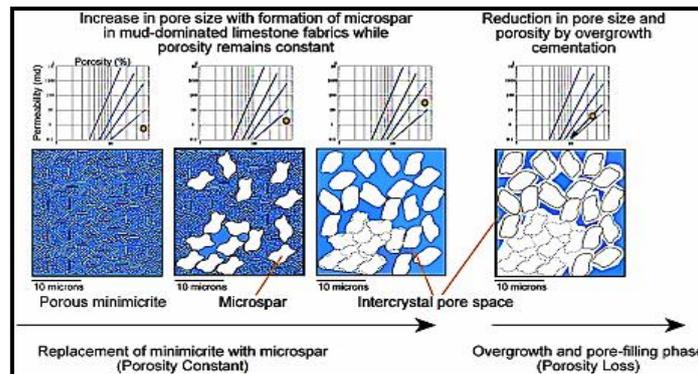
أما الانقلاب فهو العملية التي من خلالها تتغير المعادن شبه المستقرة إلى معادن مستقرة، مع حدوث بعض التغيرات في التركيب والشكل البلوري، كانقلاب الأركونايت الغني بالسترونونيوم والكالسايت العالي المغنيسيوم الى كالسايت واطئ المغنيسيوم [7, 9, 10].

وقد شخّصت هذه العملية في السحنات الدقيقة الحاوية على الحبيبات لاسيما أصداف الكاستروبودا وبعض أصداف المحاريات الأخرى والطحالب الخضراء والسرنيات (اللوحة I-1).

عموماً، يمكن أن تؤثر عملية التشكل الجديد سلبياً و/أو إيجابياً على مسامية الصخور، إلا أن تأثيرها على نتابعات تكوين قره جيني كان على الاغلب سلبياً باستثناء بعض النتابعات التي كان من الواضح جداً تأثيرها الايجابي. إذ يلاحظ ، وبدعم البيانات البتروفيزيائية، زيادة المسامية الفعالة لهذه النتابعات وبالتالي زيادة نفاذيتها على الرغم من ان معظم مساماتها هي من نوع القالبية. ان سبب ذلك يعود الى اعادة تبلور الارضية المحيطة بهذه المسامات وبالتالي زيادة حجم مسامات الصخرة ونفاذيتها وعدم حدوث سمّنة متأخرة تعمل على غلق هذه المسامات، كما هو الحال في معظم النتابعات [8].

4- الإذابة:

شخص البحث الحالي العديد من مظاهر الإذابة ضمن سحنات تكوين قره جيني، وفي مراحل مختلفة من تاريخها التحويري. فقد رصدت مسامية القالب للهيكل الاركونايتية للرخويات وبعض السرنيات وتأثرها الجزئي أو الكلي بعملية السمّنة (اللوحة 3-B, 1-D). ومن المعروف أن مسامية القالب تتكون في المراحل التحويرية المبكرة في الظروف الهوائية، ثم تمتلئ لاحقاً بالسمّنت، لاسيما السمّنت الحبيبي، وهذا ما شخّص فعلاً في بعض سحنات التكوين. بينما تظهر مسامات قالبية أخرى، سيما تلك العائدة لأصداف الفورامينيفيرا الطافية ممثلة بالمواد البتيومينية والتي تتصل فيما بينها بقنوات أو كسور دقيقة تعزز من نفاذية الصخرة. وتقتصر هذه المسامات على بئري قند وبطمة. كما شخّصت أيضاً أنواعاً أخرى من المسامية الفجوية كالفجوات التي تتكون بعد تكوين المعادن المستقرة، إذ تقطع هذه الفجوات والقنوات كل من الحبيبات والسمّنت والحشوة دالّة بذلك على تكونها عقب عمليات الدفن، تعد الإذابة من العمليات التحويرية المهمة في تعزيز مسامية التكوينات المكمنية [11]. فعلى الرغم من أهمية هذه العملية وشدتها ضمن نتابعات تكوين قره جيني الا أن تأثيرها في تحسين الخصائص المكمنية بات محدوداً، وذلك نتيجة لشدة السمّنة اللاحقة للإذابة. إذ يلاحظ امتلاء معظم المسامات الفجوية الثانوية بأنواع مختلفة من السمّنت.



الشكل (2) يوضح عملية تطور الميكرايت الى سبار دقيق وما يرافقها من مسامات بين البلورات السبارية الدقيقة [8]

5- عملية الانضغاط:

تتوارد ظواهر الانضغاط الميكانيكي والكيميائي ضمن معظم تتابعات تكوين قره جيني، لاسيما السحنات الطينية الدعم. وقد تمثلت ظواهر الانضغاط الميكانيكي بتشوه الحبيبات الكربونائيتية وتكسيراها، و لاسيما الهيكلية منها، وإعادة ترتيبها و رصها مع بعضها، فضلاً عن سحق وتكسير الأغلفة الميكرايتية للسرنيات في السحنات الحبيبية الدعم (اللوحة 2-A). كما شخص البحث الحالي توارد العديد من الكسور الدقيقة الرابطة ما بين المسامات القالبية. ويعتقد أن سبب تكوين هذه الكسور ربما يعود الى زيادة حساسية الصخرة للثقل الفوقي بعد تعرض حبيباتها الى الاذابة وتكوين المسامية القالبية. أما معالم الانضغاط الكيميائي فقد تمثلت بعروق الستايلولايت التي رصدت ضمن كل من الشرائح الصخرية الواطئة المسامية والمقاطع اللبائية، وقد تترافق بعضها مع الكسور (اللوحة 2-B). وتظهر هذه الكسور إما موازية لعروق الستايلولايت أو عمودية عليها، وغالباً ما تمتلئ بالسمنت الكربونائيتي أو الأنهايدرايتي البلوكي. أن عروق الستايلولايت المرافقة للكسور سواءً العمودية عليها أم الموازية لها تنتج بفعل العمليات التكتونية، لاسيما تلك البطيئة منها، في حين تنتج تلك الخالية من الكسور بفعل الثقل الفوقي فقط. ويندر ظهور هذه العروق في السحنات المتدلّمة، حيث يلاحظ خلو التتابعات السفلية للتكوين منها، لاسيما تتابعات بئر علان (2-Aa). [12]

عموماً، تعد عملية الانضغاط من العمليات المهمة التي تعمل على اختزال المسامية مع زيادة عمق الدفن وبالتالي نقصان النفاذية. حيث يلاحظ أن بعض الشرائح الصخرية العائدة لبئر عين زالة (AZ-29) قد أزيلت مساميتها اللوزية أو تلك المسماة بعين الطير وذلك بسبب تأثرها بالانضغاط. ويرتبط تأثير الانضغاط بالسمنتة، حيث تبدي السحنات المسمنتة مبكراً بالسمنت البحري المبكر تأثيراً أقل بالانضغاط مقارنة بتلك السحنات غير المسمنتة. أما فيما يتعلق بعروق الستايلولايت فإن لها تأثيرات مهمة على المكامن الكربونائيتية، فبالإضافة الى دورها المقيد لحركة الهيدروكربونات فإنها قد تعمل كممرات تسمح بالهجرة خلالها [12, 13, 14]. وهذا ما تم رصده في بعض شرائح التكوين، لاسيما ضمن تتابعات بئر بطمة (Bm-15) حيث يلاحظ وفرة المواد الهيدروكربونية وآثار جريانها على طول عروق الستايلولايت مما يدل على أنها تزيد من نفاذية الصخرة على الرغم من تضاعفها وتدني مساميتها (اللوحة 2-C). ومن جانب آخر، فإن لهذه العروق أهمية أخرى في تجهيز المناطق المحيطة بها بالأيونات اللازمة لعملية السمنتة المتأخرة والدلمتة، حيث يلاحظ طفو بلورات الدولومايت حول هذه العروق، فضلاً عن ترسب السمنت الكالسائي البلوكي الخشن التبلور بجوار هذه عروق.

6- الإحلال:

تعد معادن الدولومايت والمتبخرات (الجبسوم/ الأنهايدرايت) والبايراييت من أهم المعادن الإحلالية في الصخور الجيرية لتكوين قره جيني، فضلاً عن القليل من معدني الكوارتز والكالسيدوني. فيما يتعلق بمعدن الدولومايت، فسيرد ذكره بالتفصيل ضمن عملية الدلمتة. أما معادن المتبخرات، لاسيما الأنهايدرايت، فيعتقد أنها حلت محل كل من الكالساييت والدولومايت على هيئة أشكال كاذبة (Pseudomorph)، إذ يلاحظ بقايا هذين المعدنين على هيئة مكتنفات داخل البلورة الأنهايدرايتية الإحلالية. وتتخذ بعض هذه البلورات أشكالاً معينه كاذبة، يعتقد أنها ناتجة عن عملية إحلال معدن الأنهايدرايت في المراحل التحويرية المتأخرة محل البلورات الدولومايتية الطافية ضمن السحنات الطينية الدعم (اللوحة 2-D). في حين تتسم السحنات الحبيبية الدعم، لاسيما تلك المؤلفة من السرنيات، بانتشار بلورات جبسومية وكوارتزية كاذبة حالة محل الأرضية السبارية والحبيبات أحياناً. أما بالنسبة للأشكال الباييراييتية الكاذبة فإنها تظهر على هيئات أبرية يعتقد أنها قد حلت محل بلورات الأنهايدرايت الإبرية الأولية الترسيب، إذ يلاحظ بقايا الأنهايدرايت ضمن

بعض هذه البلورات البايروايتية (اللوحة E-2).

7- الدلمتة

تعد الصخور الدولومايتية هي الغالبة على تتابعات تكوين قره جيني، لاسيما تتابعات بئر علان (Aa-2). وتبدي هذه الصخور اختلافات نسيجية وتباينات في شدة الدلمتة من بئر إلى آخر وضمن أعماق تتابعات البئر الواحد. وقد قسم البحث الحالي دولومايت تكوين قره جيني طبقاً لأصل نشأته إلى نوعين هما الاحلالي والسمنتي، مفضلاً ذلك على إطلاق مصطلح الدلمتة على كليهما، إذ نوه [15] إلى عدم إطلاق هذا المصطلح على السمنت الدولومايتي والدولومايت المتشكل من إعادة تبلور الدولومايت الأولي بفعل المحاليل الحرمائية. وأُعيد في البحث الحالي على النظامين المذكورين في [16, 17] في وصف بلورات الدولومايت من حيث شكل وحجم ونسيج وشكل الحدود البلورية.

1- الدولومايت الاحلالي

يحل هذا النوع من الدولومايت محل كل من الحشوة والحبيبات المؤلفة للصخور الجيرية الأصلية. ويلاحظ اختلاف الخصائص المكمنية للدولومايت من نوع إلى آخر، تبعاً للنسيج الرسوبي الأصلي ولميكانيكية تشكل الدلمتة وشدها. وقد شخّص البحث الحالي ثلاثة أنواع أساسية من الدولومايت الاحلالي، وهي:

أ- الدولومايت الاحلالي الناعم جدا - الناعم

يظهر هذا النوع من الدولومايت في معظم تتابعات تكوين قره جيني وبنسب عالية مقارنةً مع الأنواع الأخرى، لاسيما في السحنات الطينية الدعم والميكروبية المترافقة مع المتبخرات. ويتألف هذا النوع من بلورات دولومايتية بنية داكنة إلى مسودة أحياناً، عديمة إلى ناقصة الأوجه، صغيرة الحجم لا تتجاوز أقطارها الـ (70µm). وهي عادة كثيفة الرص ومضبية وذات حدود بلورية غير منتظمة. وتُحفظ في هذا النوع من الدولومايت الأنسجة الأصلية للصخرة الجيرية كالحبيبات والتراكيب الرسوبية الأولية الصغيرة المقياس مثل الترقق والنسيج اللوزي، فضلاً عن حفظ بعض الفراغات المسامية الأولية (اللوحة A_F-1). إذ أنه كلما زادت نسبة الدلمتة زادت المسامية، وتُشكل البلورات الدولومايتية هيكلاً داعماً للصخرة ضد الانضغاط. تنتشر المواد البتيومينية ضمن المسامات بين البلورية الدقيقة لهذا النسيج، لاسيما ضمن تتابعات بئر علان (Aa-2) وقند (Kd-1)، في حين تكون نسبة هذه المواد قليلة جداً في هذا النسيج في بئر عين زالة (AZ-29). وقد يعزى هذا الانخفاض في مقطع بئر عين زالة تارة إلى النفاذ الواطئة على الرغم من مساميته العالية، وتارة أخرى إلى السمنة بالسمنت المتبخراتي.

ب- الدولومايت المستوي المتوسط - الخشن التبلور:

يتألف هذا النسيج من بلورات موزائكية، مستوية ناقصة - كاملة الأوجه، ذات حدود مستقيمة يمتد حجمها (> 100-500 µm) مضبية عادة وغنية بالشوائب الداكنة ويطلق عليه تسمية (Idiotopic) أو (Sucrosic). ويتسم هذا النسيج بمساميته العالية، لاسيما بين البلورية والقالبية التي تكون على الأغلب ممثلة بالسمنت المتبخراتي البلوكي أو بالمواد البتيومينية أو قد تكون فارغة (اللوحة G-2). يصعب تمييز الأنسجة الأولية فيه وذلك بسبب طمس معالمها بفعل عملية الدلمتة. تُظهر بعض الشرائح آثاراً لعروق الستايولايت ضمن الدولومايت، وتنتشر حوله بلورات أنهايدرايتية معينة كاذبة ناقصة - كاملة الأوجه يعتقد أنها قد حلت محل بلورات الدولومايت المرافقة لعروق الستايولايت (اللوحة D-2). وعموماً تدل آثار هذه العروق على أن عملية الدلمتة حدثت عقب عملية الدفن. على الرغم من أن نسبة هذا النسيج أقل انتشاراً من النسيج الأول إلا أنه يظهر ضمن تتابعات التكوين وبأعماق مختلفة من الآبار المختارة إما

لوحده أو بصحبة النسيج الأول.

ج- الدولومايت غير المستوي المتوسط – خشن التبلور:

يقتصر هذا النسيج والمسمى بـ (Xenotopic) على أعماق معينة من تتابعات تكوين قره جيني. فهو يتألف من بلورات موزائكية عديمة – ناقصة الأوجه، ذات انطفاء متموج وحدود منحنية وغير منتظمة (اللوحة H-2). وتكون مسامية هذا النسيج قليلة مقارنةً بالأنسجة الأخرى، إذ تقتصر على بعض الفجوات المبعثرة. ويُعزى سبب هذه الفجوات إلى إذابة الكالسايث الواطي المغنيسيوم (LMC)، الذي يكون على هيئة مكثفات داخل البلورات الدولومايتية غير الذائبة [18].

السمنت الدولومايتي:

يملاً السمنت الدولومايتي العديد من الكسور والفجوات المنتشرة ضمن تتابعات تكوين قره جيني. وتختلف بلورات السمنت الدولومايتي عن الدولومايت الاحلالي بكون معظمها نقية وخالية من الشوائب التي تظهر بوضوح في الدولومايت الاحلالي [19]. وقد ميز البحث الحالي تواردين نوعين أساسيين من السمنت الدولومايتي، وعلى النحو الموضح في أدناه:

أ- السمنت الدولومايتي المستوي:

يتألف من بلورات ناقصة- كاملة الأوجه، شفافة، ومعظمها خالية من الشوائب، متوسطة إلى خشنة التبلور، إذ قد يجتاز حجم بعضها المليمتر الواحد. وتملاً هذه البلورات المسامات بين الحبيبية والفجوية القالبية والكسرية جزئياً أو كلياً. كما أنها أحياناً تبطن جدار هذه المسامات على هيئة طور أولي ثم يليها السمنت الانهايديرايتي البلوكي ليغلقها بالكامل. شخص هذا النوع من السمنت ضمن العديد من تتابعات التكوين وفي جميع المقاطع المختاره، ويعتقد انه تكوّن في مراحل تحويرية متأخرة، حيث أن ترسيبه تلا عمليات تكوين الكسور والستايلاولايث والدملة. كما يتواردين أحياناً على هيئة نمو فوق للبلورات الدولومايتية الاحلالية الغنية بالمكثفات أو انه يملا المسامات بين البلورية للدولومايت من نوع (D2) (اللوحة A-3). ويظهر في بئر علان (Aa-2) وقند (Kd-1) وبطمة (Bm-15) على هيئة سمنت دروزي يملاً المسامات بين البلورية و/أو الفجوات القالبية الناتجة من إذابة هياكل المتحجرات (اللوحة B-3).

ب- السمنت الدولومايتي السرجي:

يظهر الدولومايت السرجي أو ما يعرف بالباروكي عادة على هيئة احلالية أو سمنتية [6, 17, 20] إلا أن الدراسة الحالية رصدت فقط الهيئة السمنتية وذلك ضمن أعماق محددة من تتابعات التكوين. وتتميز بلوراته غير المستوية بأحجامها الخشنة (600- < 1000 μm) وبامتلاكها أوجه منحنية ذات انطفاءات موجية، فضلاً عن غناها بالمكثفات (اللوحة C-3). ويملاً هذا السمنت العديد من كسور التكوين وفجواته، لاسيما في تتابعات بئر عين زالة (AZ-) (29). ونظراً لانعدام الأدلة المشيرة إلى النسيج الكاربوناييتي الأصلي فقد عُدد دولومايتاً سمنتياً وليس إحلالياً. ويترافق هذا السمنت أحياناً مع عروق الستايلاولايث والبلورات الانهايديرايتية الخشنة.

موديلات الدملة:

تشير الدلائل البتروغرافية للصخور الدولومايتية لتكوين قره جيني إلى انه تشكل ضمن مراحل تحويرية مختلفة. وتتباين هذه الآثار بشكل واضح من بئر إلى آخر، فضلاً عن تباينها من عمق إلى آخر ضمن تتابعات البئر الواحد. وتبعاً لهذه الدلائل البتروغرافية فقد اقترح البحث الحالي الموديلات التالية لنشأة دولومايت تكوين قره جيني:

1- موديل الضخ التبخري (السبخة):

تتصف الصخور الدولومايتية لتكوين قره جيني المتكونة بهذه الطريقة ببلوراتها الناعمة جداً وبترافقها مع سحنات البيئات فوق المدية الحاوية على العقد الأنهايدرايتية وضمن تتابعات مختلفة من التكوين. حيث تنمو العقد الأنهايدرايتية مع عملية الدلمتة في نطاق السبخة [21]. حيث يترافق هذا الدولومايت مع الرقائق الستروماتولايتية وأحياناً يكون على هيئة ميكرايت دولومايتي تنتشر فيه العقد الأنهايدرايتية. ويلاحظ أن هذه السحنات تفتقد عادة إلى مظاهر الانضغاط كعروق الستايلولايت مما يشير إلى أن عملية الدلمتة قد حدثت مبكراً قبل الدفن.

2- موديل الارتداد:

تظهر معالم عملية الدلمتة بموديل الارتداد لسحنات تكوين قره جيني في الحشوة والحبيبات معاً، لاسيما السحنات الغنية بالمتملقات والمتحجرات الدالة على البيئة اللاكونية. تتسم بلورات الدولومايت المتكونة بفعل هذه الآلية بأحجامها الناعمة إلى المتوسطة (D2) والتي لا تتجاوز الـ (100µm) وكذلك بترافقها مع الانهايدرايت/الجبسوم الذي يملأ معظم المسامات بين البلورية والقالبية وضمن الحبيبية.

3- موديل الخلط :

شخص البحث الحالي توارد الدولومايت المتكون في البيئات البحرية المختلطة في العديد من تتابعات التكوين، حيث تظهر بلورات الدولومايت الناتجة من هذا الموديل على هيئة إحلالية أو سمنتية مائلة للفجوات. وبترافق الدولومايت المتكون بهذه الآلية عادةً مع العديد من الأنسجة الدالة على التعرض للمياه الجوفية كالمسامية القالبية المتكونة في المراحل التحويرية المبكرة وتوارد السمنت الكالسائي المبكر المترسب من هذه المياه. وتظهر هذه الأنسجة بشكل أساسي في السحنات الغنية بالحبيبات السريئة، لاسيما تلك المشخصة في تتابعات بئر عين زالة (AZ-29). إذ يلاحظ فيها سيادة المسامية القالبية الناتجة من الإذابة الجزئية أو الكلية للسرنيات وبعض أصداف المتحجرات كالأوستراكودا. أن مثل هذه الصخور الدولومايتية لا تترافق مع المتبخرات. وبذلك فإن وجود السمنت المتبخرايتي مائلاً لمعظم المسامات القالبية يرجح ترسبه لاحقاً بعد عملية الدلمتة [22, 13].

4- موديل الدفن/ الحرمان:

شخص البحث الحالي توارد هذا النوع من الدولومايت بهيئتيه السمنتية والأحلالية. إذ تمتلك بلورات هذا الدولومايت من الخصائص النسيجية ما يميزها عن تلك المتكونة في بيئات تحويرية أخرى. فهي تحتوي على العديد من الأدلة التي تدعم نشأتها المتأخرة، كظهورها بأوجه كامله وعلى هيئة منفردة يزداد تواردها بالقرب من عروق الستايلولايت والتراكيب الانضغاطية الأخرى، وان شدة الدلمتة تزداد باتجاه هذه العروق [23]. كما شوهدت آثار هذه العروق بهيئة مشوهة ومقطعة ضمن البلورات الدولومايتية. ومن الأدلة المهمة الأخرى التي شخصت هي وجود الكسور الممتلئة بالسمنت الدولومايتي. وتتميز هذه الكسور بقطعها لكل الأطوار التحويرية السابقة والمتمثلة بعروق الستايلولايت والكسور القديمة الممتلئة بالسمنت الكالسائي أو الأنهايدرايتي. أشار العديد من الباحثين [20, 23-29] إلى أن الدولومايت الحرمانى يمتلك نظائر أكسجين سالبة تنحصر على الأغلب ما بين (-7 إلى -16%). ولدى مقارنة معطيات البحث الحالي مع تحاليل لتكوين قره جيني [30]، تبين أن الدولومايت ذات النسيج الدرزي والسرجي وقسم من الأنسجة الأيديوتوبية (Idiotopic) تمتلك قيم سالبة عالية من نظائر الأوكسجين ($\delta^{18}O$) انحصرت ما بين (-9.01_ -11.93%)، وهذا ما يؤيد نشأته الحرمانية.

استناداً إلى الآراء السابقة، وما تم مناقشته مع الدكتور (Taury Smith, 2014)، اتصال شخصي عبر البريد الإلكتروني) فيما يتعلق بالخصائص البصرية للبلورات، كالانطفاء المتموج والحدود البلورية غير المستوية، فضلاً عن ظاهرة الفجوات والكسور الممتلئة بالسمنت الدولومائي والمشخصة من المقاطع اللبائية، فقد تبين أن النسيج الدرزي والسرجي وبعض الأنسجة الأيديوتوبية الخشنة هي حرمائية الأصل. إذ يعتقد أن للفوالق المتكونة في هذه الطبقات تأثير كبير على نقل الموائع الحرمائية وتكوين الأنسجة الدولومائية، ولاسيما ترافقها وتبعاً لـ [30]، مع خامات الرصاص والخراسين.

تصنيف مسامية تكوين قره جيني:

تعد المسامية من الخصائص الصخرية المهمة في التقييم المكمني، فهي تمثل قابلية الصخرة أو طاقتها الاستيعابية على خزن الموائع. تتصف المسامية في الصخور الكربونائيتية بتعقدها الشديد مقارنة بمثيلاتها في الصخور الرملية [31]. وكما هو معروف، فإن الانسجة الأولية في الصخور الرملية هي التي تسيطر على المسامية، في حين تتأثر المسامية النهائية للصخور الكربونائيتية بالعديد من العوامل، سيما العوامل التحويرية. ونظراً لصعوبة احتفاظ الصخور الكربونائيتية بالمسامية الأولية فإن أغلبية المكامن الكربونائيتية تمتاز بمساميتها الثانوية. وتتشكل المسامية الثانوية نتيجة لتحوير الراسب الكربونائيتي الأصلي بعد الترسيب. ويعتمد تشكل معظم المسامية الثانوية على وجود المسامية الأولية الناقلة للسوائل المسؤولة عن تكوين المسامية الثانوية [32].

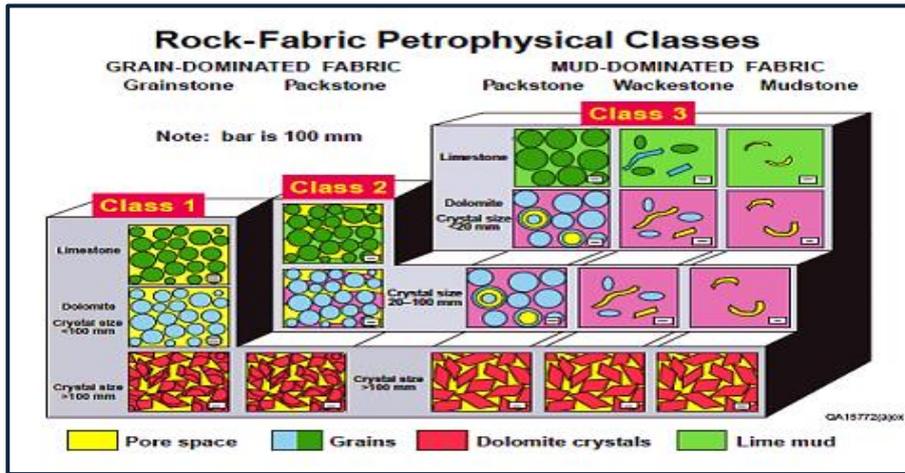
اتخذ البحث الحالي من المقاطع الرقيقة وما أتى من مقاطع لبائية أساساً في تشخيص مسامية تكوين قره جيني وتصنيفها تبعاً لـ [1]. إذ أن هذا النظام، وعلى خلاف النظام المعتمد أساساً على أصل المسامية وزمن نشأتها، يتخذ الخصائص البتروفيزيائية للصخرة مبدأً أساسياً في تصنيف المسامية [31]. فمثلاً يتضح من نظام [1] (Lucia, 1995) ان للمسامات القالبية وبين الحبيبية تأثيرين مختلفين على الخصائص البتروفيزيائية، رغم ان نظام تصنيف [31] (Choquette and Pray, 1970) قد وضعهما ضمن حقل واحد.

تصنف المسامية على نوعين أساسيين (بين الجسيمية والفجوية) بافتراض ان توزيع الحجم المسامي هو الذي يهيمن على المتغيرات الهندسية للنفاذية والتشبع المرتبط بنسيج الصخرة الذي يعد الناتج النهائي لمجمل العمليات الجيولوجية. ويستخدم هذا النظام مصطلحات بتروفيزيائية – نسيجية لوصف مسامية الصخرة كما هي عليه اليوم (الصورة الحالية)، سواء كانت هذه المسامات رسوبية أم تحويرية [1].

وفيما يلي وصفاً مفصلاً لكلا النوعين ومدى شيوعهما ضمن تتابعات التكوين:

أولاً: المسامية بين الجسيمية:

تشتمل المسامية بين الجسيمية على كل من الفراغات المسامية بين الحبيبية (Intergrain) وبين البلورية (Intercrystal). وقد ادرج هذين النوعين من المسامية ضمن صنف واحد، على الرغم من نشأتها المختلفة، لامتلاكهما خصائص بتروفيزيائية متشابهة والمعتمدة بالأساس على الحجم الحبيبي والفرز [1]. إذ تبين لهذا الباحث ان هناك علاقة ما بين حجم الجسيم ومسامية ونفاذية الصخرة. لذلك فقد صنف المسامية بين الجسيمية على ثلاث رتب (Class 1,2,3) باستناده الى فيما اذا كان النسيج ذات سيادة حبيبية ام طينية [33]، كما في الشكل (3). شخص البحث الحالي توارد الرتب الثلاث ضمن تتابعات تكوين قره جيني وهي كالاتي:



الشكل (3): يوضح المسامية بين الجسيمية والعلاقة ما بين نسيج الصخرة والأصناف البتروفيزيائية [1].

1- الرتبة الاولى (Class-1):

سجلت مسامية هذه الرتبة ضمن السحنات الحبيبية الدعم ذات الحجم الحبيبي الكبير نسبياً (الأكبر من $100 \mu\text{m}$) في المقاطع المختارة كافة. وتتمثل هذه السحنات بسحنة الحجر الجيري السري ذات المسامية بين الحبيبية والسحنات الدولومايتية الايدوتوبية الخسنة ذات المسامية بين البلورية (اللوحة 2-G). ويلاحظ أن لعملية السمنتة تأثيراً كبيراً على اختزال الحجم المسامي في هذه السحنات، إذ تمتلئ مساماتها جزئياً أو كلياً بالسمنت الكربوناتي أو المتبخرايتي البويكلوتوبي. وان هذه الرتبة تتسم بنفاذيتها العالية مقارنة مع الرتبتين الاخرتين [1, 34]. وعلى الرغم من النفاذية العالية لهذه الرتبة الا ان تأثيرها محدود على هايدروكربونات تكوين قره جيني، ولا سيما في بئر عين زاله، والسبب في ذلك يعود بشكل اساسي لعملية السمنتة التي ادت الى غلق معظم الممرات الرابطة ما بين المسامات بين الجسيمية.

2- الرتبة الثانية (Class-2):

تختص هذه الرتبة بالسحنات المرصوفة الحبيبية الدعم، ذات الاحجام المختلفة والحاوية على كل من الميكرايت والسبار. وتتحصر أحجام الحبيبات او البلورات الدولومايتية لهذا النوع ما بين (20-100 μm). وسجلت هذه الرتبة ضمن أجزاء من سحنات تكوين قره جيني كسحنة الحجر الجيري المرصوص الدملي والمرصوص- الحبيبي الغني بأصداف الاوستراكودا والسحنات الدولومايتية ذات البلورات المتوسطة الحجم (اللوحة 3-D). تحتل هذه الرتبة المرتبة الثانية من حيث سيادتها ضمن تتابعات التكوين. ويلاحظ انه ليس لهذا النوع من المسامية أية أهمية بتروفيزيائية في السحنات الجيرية، وذلك لامتلاء معظمها بالسمنت المتبخرايتي أو الكربوناتي. أما التتابعات المؤلفة من البلورات الدولومايتية المتوسطة الحجم، لاسيما تلك التي لا يزيد حجمها عن الـ (70 μm)، فإنها تمتلئ بالمواد البتيومينية في معظم تتابعات الابار المختارة، باستثناء تتابعات بئر عين زاله، حيث يملأ السمنت مسامية صخورها الدولومايتية. وتعد هذه الرتبة هي الاكثر اهمية من حيث محتواها الهايدروكربوني في تتابعات بئري علان وبطمه، حيث تنتشر فيهما وبوضوح هذه المواد ضمن بلورات الدولومايت.

3-الرتبة الثالثة (3-Class):

تظهر هذه الرتبة في السحنات ذات السيادة الطينية التي لا يتجاوز حجم حبيباتها الـ (20µm). وتعد هذه الرتبة الأكثر انتشاراً ضمن سحنات تكوين قره جيني. وتمتاز هذه المسامية بنفاذيتها الواطئة على الرغم من مساميتها العالية، إلا أنه من الممكن أن تزداد هذه النفاذية نتيجة لتعرض الطين الجيري لعملية الدلمة. إذ تؤدي الدلمة إلى تحسين الخصائص البتروفيزيائية، لاسيما إذا كانت أحجام بلورات الدولومايت أقل من الـ 20 مايكرون (اللوحة 2-F). وهذا ينطبق على بعض سحنات التكوين ضمن مقطعي بطمة وقند، لاسيما تلك الحاملة لأصداف الفورامنيفيرا، المتدلمة انتقائياً. إذ تمتاز هذه الأصداف المتدلمة بامتلاكها لغلغاف ميكرايتي يطوق البلورات الدولومايتية الحاوية في مساماتها بين البلورية على مواد بنتيومينية.

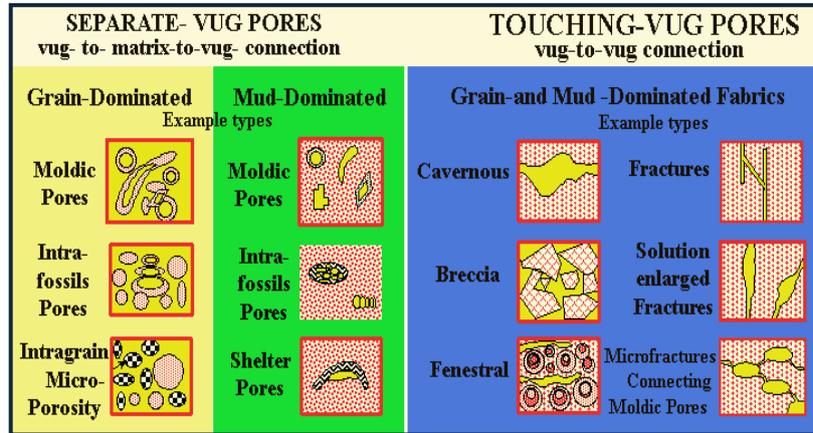
ثانيا- المسامية الفجوية:

تعرف المسامية الفجوية على أنها الفراغات المسامية الواقعة ضمن الحبيبات أو البلورات أو التي تكون أكبر حجماً منها، ولا تنتمي للمسامات بين الجسيمية. وتتخذ هذه المسامية هيئات مختلفة مجسده للمتحجرات أو للحبيبات المذابة أو لكسور أو كهوف غير منتظمة واسعة الحجم [1]. وبذلك فإن التعريف الحالي لهذه المسامية يختلف عن التعريف التقليدي المطروح من قبل [31] (Choquette and Pray, 1970) الذي صنفها كنوع من المسامات غير الانتقائية النسيج المتساوية الأبعاد تقريباً وذات الأحجام الكبيرة نسبياً (< 62.5 µm)، بحيث يمكن ملاحظتها بالعين المجردة. وتبعاً لتصنيف [1] (Lucia, 1995) تقسم هذه المسامية إلى نوعين اعتماداً على طبيعة ترابطها مع بعضها كما في الشكلين (3) و (4)، وفيما يلي وصفاً مفصلاً لهذه المسامات:

أ-المسامات الفجوية المنفصلة:

لا يختلف تعريفها عن التعريف العام للمسامات الفجوية إلا في كون هذه المسامات المنفصلة ترتبط مع بعضها البعض فقط من خلال المسامات بين الجسيمية. وقد شخّص البحث الحالي توارد كل من المسامية داخل المتحجرات والقالبية (اللوحة 1-C,F;3-B,F). تمثلت الأولى بظهورها المحدود ضمن أصداف الكاستروبودا والفورامنيفيرا، لاسيما الطافية منها، وهي مسامات قد تكون فارغة أو ممتلئة، بالسمنت الكربوناتي أو بالمواد البنتيومينية. أما المسامية القالبية فإنها أكثر توارداً ضمن تتابعات كل المقاطع المختارة. فهي تتمثل بالمسامات الناتجة عن الإذابة الانتقائية للمكونات الحبيبية، و لاسيما الأراكونايتية، أو البلورية للصخرة أو الراسب [31]. وشخصت هذه المسامية في كل من السحنات الحبيبية والطينية الدعم ممتلئة بقوالب السرنيات وبعض أصداف المتحجرات كالواستراكودا وثنائية المصراع والكاستروبودا والفورامنيفيرا، رغم امتلاء معظمها، جزئياً أو كلياً، بأنواع مختلفة من السمنت.

إن لهذه المسامات أهمية مكمية محدودة في الصخرة، إذ أنها على الرغم من زيادتها للمسامية الكلية إلا أنها لا تسهم في تعزيز النفاذية [1]. وفي حالة تطور المسامية القالبية، وتحديداً في الصخور الحبيبية الدعم، فإنها ترتبط ببعضها البعض وبالتالي تكوين مسامية فعّالة ومهمة مكمياً. إلا أن هذا الأمر لا ينطبق على الصخور الطينية الدعم [34]. إلا أن عملية إعادة تبلور الميكرايت في السحنات الطينية الدعم أدت إلى تكوين ممرات رابطة ما بين المسامات القالبية المختلفة وبالتالي تعزيز نفاذية الصخرة.



الشكل (4): يوضح النوعان الاساسيان من المسامية الفجوية [1]

ب - المسامات الفجوية المتلامسة:

تنسجم هذه المسامات الفجوية بأحجامها الكبيرة مقارنة بحجم الحبيبات أو البلورات المحيطة بها، فضلاً عن كونها تشكل نظاماً مسامياً مترابطاً بمساحات واسعة نسبياً. ويتمثل هذا الصنف بالمسامات: الكسرية واللوزية (الثغرية) والكهفية والبريشيا الانهيارية (الشكل 4). شحص البحث الحالي توارد هذه المسامات وبكافة أنواعها ضمن تتابعات التكوين، على الرغم من هيمنة المسامات الكسرية والثغرية. وتتوارد المسامات الكسرية، سواءً في الشرائح الرقيقة أم في المقاطع اللبابية، بمقاييس مختلفة، إذ قد تصل أطوالها الى عشرات السنتيمترات مترافقة أحياناً مع عروق السنايلولايت. وتظهر هذه الكسور، وضمن مختلف سحنات التكوين، بهيئة منفردة (عمودية أو أفقية) أو على هيئة تجمعات شبكية متقاطعة مع بعضها (اللوحتين: 2-B, 3-G). وتمتلئ اغلبية هذه الكسور بالسمنت الكالسائي او الانهايديرايتي المترافقة أحياناً للمواد البتيومينية، سيما على حافاتها، مع بقاء الكسور الأخرى فارغة. وتؤدي الكسور الدقيقة دوراً مهماً في تعزيز النفاذية وذلك عن طريق اتصالها بالمسامات الفجوية المنفصلة بمختلف انواعها (اللوحة 3-H). وتختلف آلية تأصل هذه الكسور من موقع الى اخر، إذ قد تكون ناتجة عن عمليات رسوبية مختلفة أو بفعل العمليات التكتونية. وقد اعتبر تكوين قره جيني من الوحدات الممكنية الكسرية الجيدة ضمن تتابعات الترياسي الاعلى، وفسرت قيم المسامية والنفاذية العالية الى موقعها التركيبي ضمن أنطقة الفوالق والطيات [36]. أما المسامات اللوزية فإنها تكثر ضمن السحنات المايكروبية في تتابعات مقطعي عين زاله وبطمه. وعلى الرغم من اتخاذها أشكالاً واحجاماً مختلفة الا أن اغليبتها ممتلئة بالسمنت الانهايديرايتي البلوكي او البويكيلوتوبي (اللوحة 3-E). ولهذه المسامية الأولية المنشأ أهمية اقتصادية في العديد من المكامن الكربونائيتية لما لها من نفاذية عالية، الا ان هذا لا ينطبق على مسامية تكوين قره جيني لامتلاء معظمها بالسمنت. فيما يتعلق بالأنواع الأخرى كمسامية البريشيا والكسرية – القنواتية فقد اقتصر تواردها على بعض تتابعات التكوين، لاسيما تتابعات بئر عين زاله، حيث تكون عادةً ممتلئة بالسمنت الانهايديرايتي.

الاستنتاجات

استنتج البحث الحالي أن للعمليات التحويرية تأثير كبير ومهم على مسامية تتابعات تكوين قره جيني من الناحيتين الايجابية والسلبية. إذ تبين أن معظم مسامية التكوين هي ثانوية المنشأ. فقد اشتملت غالبيتها على المسامية بين البلورية المتكونة بفعل عملية الدلمتة، فضلاً عن المسامية الكسرية المختلفة الأصل والمسامية القالبية الناتجة عن اذابة مكونات الصخرة الحبيبية. إذ أدت العمليات التحويرية (المبكرة والمتأخرة) الى ازالة معظم المسامية الأولية المتمثلة بالمسامية بين الحبيبية واللوزية بفعل السمنتة التي قد أثرت ايضاً على المسامية الثانوية. وبذلك تعد الدلمتة واحياناً الاذابة العمليتين الاكثر أهمية وتأثيراً على المسامية والنفاذية النهائية لتتابعات التكوين، إذ يلاحظ ان معظم المواد البتيومينية قد خزنت ضمن المسامات بين البلورية سيما تلك العائدة، وتبعاً لتصنيف [1] (Lucia,1995)، للصنفين الثاني والثالث. بينما تعد عملية السمنتة، لاسيما السمنتة بالانهايدرايت، من أهم العمليات المختزلة لمسامات التكوين، وبالتالي لنفاذيتها، ويتوافق هذا الوصف على تتابعات بئر عين زاله، التي على الرغم من مساميتها العالية الا أن معظمها منغلقة بالسمنت. وفيما يتعلق بالمسامات الكسرية فإنها تظهر على بحجمها الدقيقة والكبيرة. تعمل الدقيقة منها على زيادة الاتصال بين الفجوات المنفصلة كالقالبية وبالتالي تعزيز نفاذيتها. ويعتقد ان سبب ذلك يعود الى زيادة حساسية الصخرة للثقل الفوقي بعد تعرض حبيباتها الى الاذابة.

المصادر:

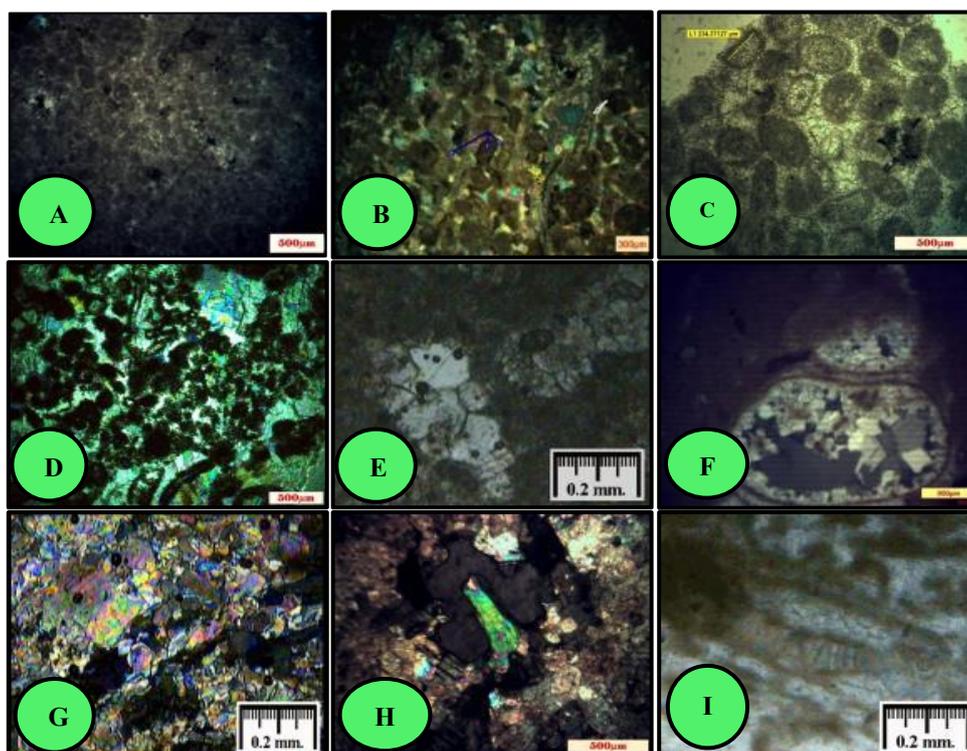
1. Lucia, F.J., (1995): Rock - Fabric/Petrophysical Classification of Carbonate Pore Space for Reservoir Characterization, *AAPG. Bull.*, Vol. 79, No. 9, pp. 1275–1300.
2. Bellen, V.R.C., Dunnington, H.V., Wetzel, R. and Morton, D.M., (1959): Lexique Stratigraphique International, Central National Deal Recherches Scientifique, III, *Asia, Fascicule, 10a, Paris*, 333 P.
3. Jassim, S. Z. and Buday, T. (2006) : Tectonic Framework, In : Jassim, S. Z. and Goff, J. C. (eds.), *Geology of Iraq*, Published by *Dolin, Prague and Moravian Museum, Brno*, pp. 45–55.
4. Moore, C. H., (1989): Carbonate Diagenesis and Porosity: *Elsevier, New York*, 338P.
5. Railsback, L.B., (1984): Carbonate Diagenesis Facies in The Upper Pennsylvanian Dennis Formation in Iowa, Missouri, and Kansas, *J. Sed. Pet. Vol.54, No.3*, pp 986-999.
6. Tucker, M.E., and Wright, V. P., (1990): Carbonate Sedimentology, *Blackwell Science Press*.482 P.
7. Ahr, W.M., (2008): Geology of Carbonate Reservoir, The Identification, Description, and Characterization of Hydrocarbon Reservoirs in Carbonate Rocks, *Wiley, Canada*, 277P.
8. Lucia,J. and Loucks,R.G., (2013): Micropores in Carbonate Mud: Early Development and Petrophysics, *GCAGS. Jour. Vol.2*, pp.1-10.
9. Boggs, S. Jr., (2006): Principles of Sedimentology and Stratigraphy, (4th ed.), *Person Prentice-Hall*, New Jersey, 662 P.
10. Boggs, S. Jr., (2009): Petrology of Sedimentary Rocks, (2nd ed.), *Cambridge University Press, UK*, 600 P.
11. Moore, C. H., (2001): Carbonate Reservoirs, Porosity Evolution and Diagenesis In A Sequence Stratigraphic Framework, : *Elsevier, Amsterdam*, 444P.
12. Nilson, R. A., (1981): Significance of Fracture Sets Association With Stylolite Zones, *AAPG., Bull.*, Vol.65, No.11, pp.2417-2425.
13. Longman, M.W., (1982): Carbonate Diagenesis as A Control on Stratigraphic Traps (With Examples From The Williston Basin), *AAPG., Education Course Note Series # 21*. 159 P.
14. Cordell, R.J., (1992): Carbonates as Hydrocarbon Source Rocks, In Chilngarian, G.V., Mazzullo, S.J. and Rieke, H.H, (eds), *Developments in Petroleum Science*,30, *Elsevier, USA.*, 639P.
15. Al Awadi, M., Clark, W.J., Moore, W. R., Herron, M., Zhang, T., Zhao, W., Hurley, N., Kho, D., Montaron, B. and Sadooni, F., (2009): Dolomite: Perspectives on a Perplexing Mineral, *Oilfield Review, Schlumberger, Vol. 21, No. 3*, pp. 32-45.
16. Randazzo, A. F. and Zachos, L. G., (1984): Classification and Description of Dolomitic Fabrics of Rocks From The Floridan Aquifer, U.S.A., *Sedimentary Geology*,Vol. 37, pp.151-162.

17. Sibley, D.F. and Gregg, J.M., (1987): Classification of Dolomite Rock Textures, *J. Sed. Pet.*, Vol. 57, No.6, pp.967-975.
18. Sibley, D. F., (1982): The Origin of Common Dolomite Fabrics: Clues From The Pliocene, *J. Sed. Pet.*, Vol.52, No.4, pp.1087-1100.
19. Folk, R.L. and Land, L.S, (1975): Mg/Ca Ratio and Salinity: Two Controls Over Crystallization of Dolomite, *AAPG Bull.*, Vol 59, No.1, pp. 60- 68.
20. Davies, G. R. and Smith, L. B., (2006): Structurally Controlled Hydrothermal Dolomite Reservoir Facies: An Overview, *AAPG., Bull.*, Vol. 90, No. 11, pp.1641-1690.
21. Warren, J.K, (2006): Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons, *Springer, Germany*, 1035P.
22. Warren, J.K., (2000): Dolomite: Occurrence, Evolution and Economically Important associations, *Earth Science Reviews*, Vol. 52, pp.1-81.
23. El Tabakh, M. , Aroon, C. U., Warren, J. K. and Schreiber, B.C., (2003): Origin of Dolomites in The Cretaceous Maha Sarakham Evaporates of The Khorat Plateau, Northeast Thailand, *Sedimentary Geology*, Vol. 157, pp. 235- 252.
24. Zenger,D. H., (1981): On The Formation and Occurrence of Saddle Dolomite_ Discussion, *J. Sed. Pet.*, Vol.51, No.,4, pp.1350-1352.
25. Wallace, M.W., (1990): Origin of Dolomitization on the Barbwire Terrace, Canning Basin, Western Australia, *Sedimentology*, Vol.37, No.1, pp.105-122.
26. Spotl, C.Pitman, J.K., (1998): Saddle (Baroque) Dolomite In Carbonate and Sandstones: A Reappraisal of A Burial- Diagenetic Concept, In: Morad, S., (ed.), Carbonate Cementation in Sandstones: Distribution Patterns and Geochemical Evolution: *Int. Ass. Sediment., Spec. Publs.* Vol. 26, pp.437-460.
27. Quing, H., (2008): A Tale of Two Saddle Dolomite Research Continued From Earlier Work With Professor Mountjoy, Adapted From Oral Presentation at *AAPG Annual Convention*, Abstract.
28. Zhang, J., Hu, W., Quin, Y., Wang, X., Cao, J., Zhu,J., Li, Q. and Xie, X., (2009): Formation of Saddle Dolomites in Upper Cambrian Carbonates, Western Tarim Basin (Northwest China): Implications For Fault-Related Fluid Flow, *Marine and Petroleum Geology*, Vol.26, pp. 1428-1440.
29. Ronchi, P., Masetti, D., Tassan, S. and Camocino, D., (2012): Hydrothermal Dolomitization in Platform and Basin Carbonate Successions During Thrusting: A Hydrocarbon Reservoir Analogue (Mesozoic of Venetian Southern Alps, Italy), *Marine and Petroleum Geology*, Vol.29, pp. 68-89.

- 30. Shingaly, W. S., (2013):** The Role of Carbonate Host in The Genesis of Lead-Zinc Sulfide Deposits at Dure and Lefan Sections and Iron- Sulfide Deposits at Sinjar Section – Northern Iraq, *Ph.D Thesis, Mosul University*, 195 P.
- 31. Choquette, P.W. and Pray, L.C., (1970):** Geologic Nomenclature and Classification of Porosity in Sedimentary Carbonates, *AAPG., Bull., Vol. 54, No. 2*, pp. 207-250.
- 32. Bebout, D.G., (1979):** Secondary Carbonate Porosity, In: Moore, C.H., (eds.), *Geology of Carbonate Porosity, Course Note Series #11, AAPG., Continuing Education*, pp B1 – B70.
- 33. Dunham, R.J., (1962)** Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture: In Ham, W.E.,(eds.) *Classification of Carbonate Rocks, A symposium. AAPG. Bull. Publisher, Memoir 1. Tulsa Oklahoma*, pp.108-121.
- 34. Lucia, F. J., (2007):** Carbonate Reservoir Characterization, An Integrated Approach, (2nd ed.), *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 336 P.
- 35. Moore, C. H., (1979):** Porosity in Carbonate Rock Sequence, In: Moore, C.H., (eds.), *Geology of Carbonate Porosity, Course Note Series #11, AAPG., Continuing Education*, pp. A1-A124.
- 36. Awdal, A., Healy, D. and Alsop, G.I., (2016):** Fracture patterns and petrophysical properties of carbonates undergoing regional folding: A case study from Kurdistan, N Iraq, *Marine and Petroleum Geology, Vol. 71*, pp.149-167.

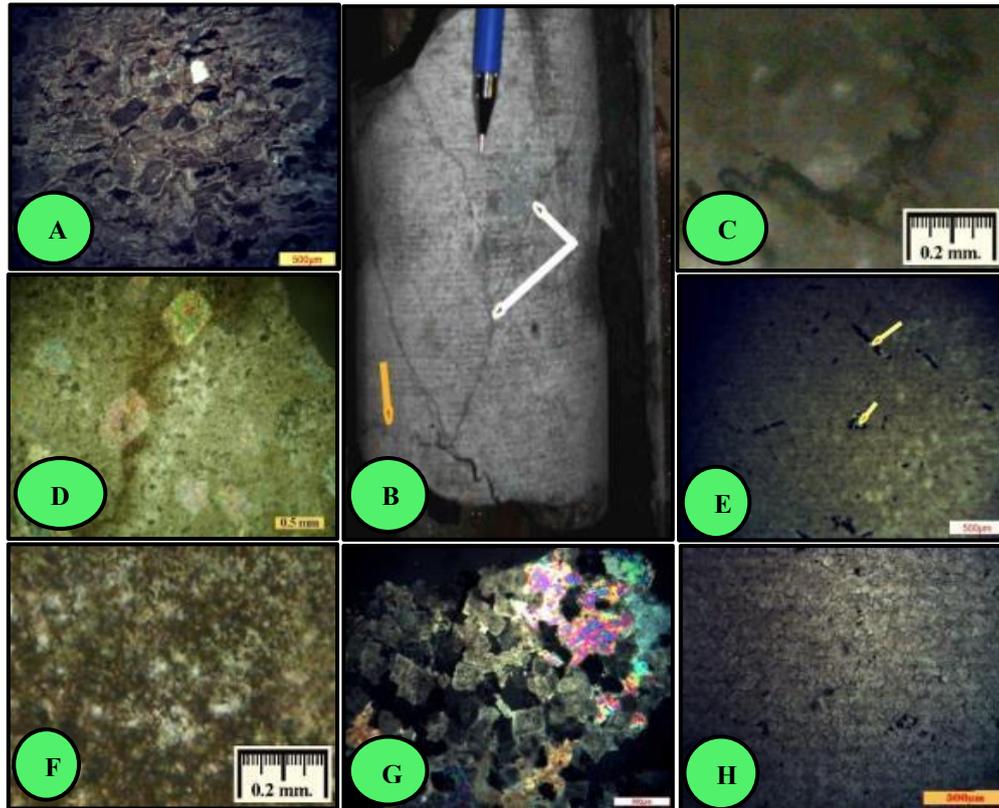
الملحق-1

اللوحة الأولى



- A-** دمالق ناتجة عن مكترية الحبيبات المختلفة، بئر (Aa-2)، العمق (2320 م).
- B-** أصداف ثنائية المصراع مكترية الحافات ومتسمنتة المراكز بالاسمنت الانهايديرايتي. بئر (AZ-29)، العمق (4043 م).
- C-** السمنت الحبيبي يملأ المسامات القالبية وبين الحبيبية. (Aa-2)، العمق (2320 م).
- D-** أطوار سمنتية مختلفة تبدأ بالاسمنت الميكرايتي المغلف للحبيبية ويليه السمنت المتساوي السمك ويأتي السمنت الانهايديرايتي البلوكي لاحقاً ليغلق ما تبقى من المسامات الناتجة عن الاذابة. بئر (AZ-29)، العمق (4059 م).
- E-** السمنت البلوكي خشن التبلور وذات حدود مستقيمة يملأ المسامات القالبية بعد تعرض الحبيبية الى الاذابة. بئر (Bm-15)، العمق (3310 م).
- F-** صدفة كاستروبودا متعرضة الى السمنتة بالاسمنت المتساوي السمك ويليه السمنت الدروزي كطور ثاني ضمن ارضيه متدلتمته. بئر (AZ-29)، العمق (3766 م).
- G-** السمنت الانهايديرايتي البلوكي المالى للكسور والحاوي ضمنه على عروق الستايلاولايت. بئر (Kd-1)، (3683).
- H-** بلورة السمنت الانهايديرايتي اللوحي تملأ الفراغات الفجوية. بئر (Bm-15)، العمق (1532 م).
- I-** الطحالب الخضرة المتعرضة الى الانقلاب والمنغمرة في ارضية سبارية معادة التبلور. بئر (Bm-15)، العمق (3064 م).

اللوحة الثانية



- A-** حبيبات مختلفة يصعب تحديد عانديتها لتشوهها بفعل الانضغاط، بئر (AZ-29)، العمق (3940 م).
- B-** مقطع لبابي يحتوي على الستايلاولايت التكتوني المنشأ والمترافق مع الكسور. بئر (Bm-15)، العمق (3219 م).
- C-** وفرة المواد الهايدروكاربونية واثار جريانها على طول عروق الستايلاولايت. بئر (Bm-15)، العمق (2808 م).

D- احلال معدن الانهايديرايت، وعلى هيئة اشكال كاذبة، محل معينات الدولومايت الاحلالية الطافية والقريبة من عروق الستايلولايت. بئر (AZ-29)، العمق (4281 م).

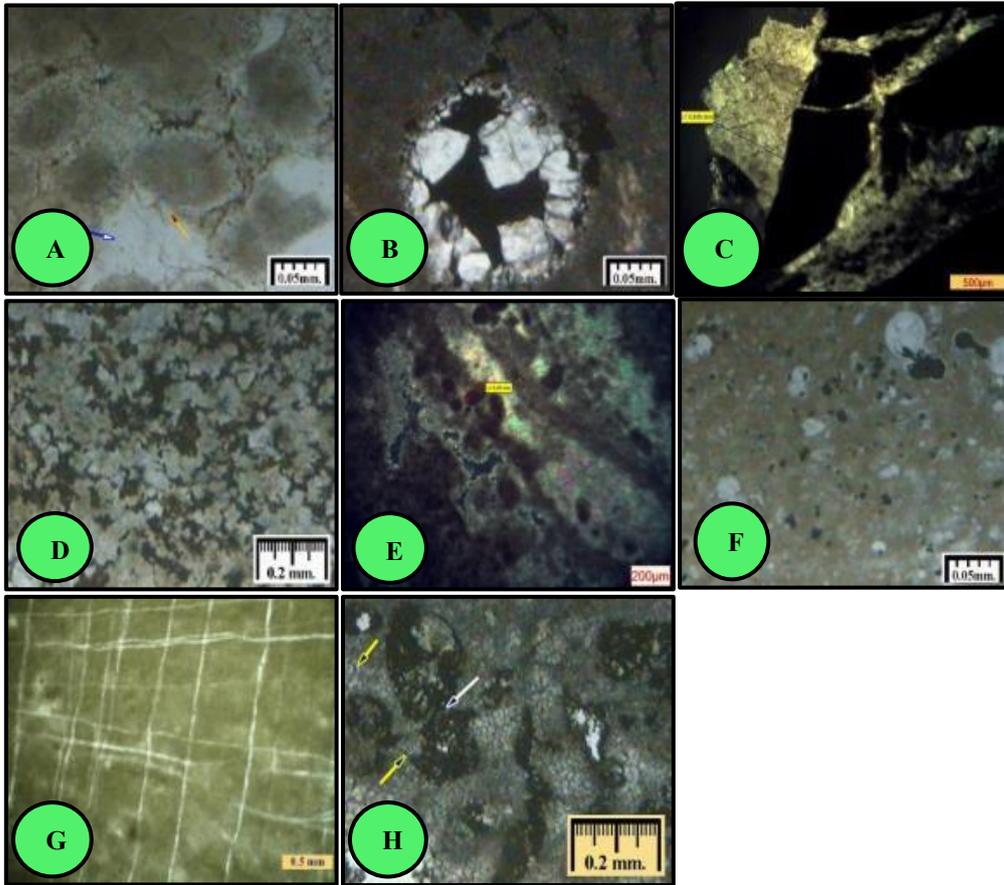
E- بلورات البايرايت الاحلالية ذات الاشكال الكاذبة قد حلت محل بلورات الانهايديرايت الابرية، ويظهر الانهايديرايت على هيئة مكثفات داخل البايرايت. بئر (AZ-29)، العمق (3868 م).

F- الحجر الجيري الطيني المتدلمت والمؤلف من بلورات الدولومايت الصغيرة. ويلاحظ امتلاء مساماته بين البلورية ذات الرتبة الثالثة بالمواد البتيومينية. بئر (Kd-1)، (3460).

G- الدولومايت الاحلالي خشن التبلور والكامل الاوجه البلورية والغني بالمسامات بين البلورية الممتلئة معظمها بالسمنت الانهايديرايتي البلوكي بئر (Aa-1)، العمق (2263 م).

H- بلورات الدولومايت الاحلالية والموزائكية، عديمة وناقصة الاوجه وذات حدود غير منتظمة. ويلاحظ ان نسبة المسامات ضمن هذه البلورات قليلة جداً بئر (Aa-1)، العمق (2797 م).

اللوحة الثالثة



A- بلورات الدولومايت السمنتية الشفافة والنقية تملأ المسامات بين الحبيبية، ويلبها السمنت الأنهايديرايتي ليغلق هذه المسامات بالكامل، بئر (Kd-1)، العمق (3403 م).

B- بلورات الدولومايت السمنتية النقية والخشنة تملأ جزءاً من المسامات القالبية المتشكلة بفعل الاذابة، ويلاحظ ان

المواد البتيومينية تملأ جزئها المتبقي. بئر (Bm-15)، العمق (3207 م).

C- السمنت السرجي (الباروكي) غير المستوي وذات الاوجه البلورية المنحنية. بئر (AZ-29)، العمق (4549 م).

D- المسامات بين البلورية، الرتبة الثانية.

E- المسامات الفجوية المتصلة من نوع الثغرية، ويلاحظ امتلائها بالسمنت الانهايدرايتي.

F- المسامات الفجوية المنفصلة من نوع داخل الحبيبية.

G- المسامات المتصلة من نوع الكسرية.

H- الكسور الدقيقة الرابطة ما بين المسامات الفجوية المنفصلة.