



جامعة الموصل

كلية العلوم

قسم علوم الأرض

دراسة رسوبية لتكوين أفانه في مقطعي أقوبان وكلي

دهوك، شمالي العراق

آمنة وليد حامد أحمد

رسالة ماجستير

علوم الأرض/ رسوبيات

بإشراف

أ. د. رافع إبراهيم الحميدي



جامعة الموصل
كلية العلوم
قسم علوم الأرض

دراسة رسوبية لتكوين أفانه في مقطعي أقوبان وكلي دهوك, شمالي العراق

رسالة تقدمت بها الطالبة
آمنة وليد حامد أحمد

إلى مجلس كلية العلوم في جامعة الموصل وهي جزء من متطلبات درجة
الماجستير في اختصاص علوم الأرض، رسوبيات

بإشراف

أ. د. رافع إبراهيم الحميدي

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿وَتَرَى الْجِبَالَ تَحْسِبُهَا جَامِدَةً وَهِيَ

تَمُرُّ مَرًّا السَّحَابِ صُنْعَ اللَّهِ الَّذِي

أَتَقَنَ كُلَّ شَيْءٍ إِنَّهُ خَبِيرٌ بِمَا

تَفْعَلُونَ﴾ [النمل: ٨٨]

صدق الله العظيم

إقرار المشرف

أشهد بأن إعداد هذه الرسالة جرى تحت إشرافي في جامعة الموصل وهي جزء من متطلبات نيل شهادة الماجستير في علوم الأرض / رسوبيات

التوقيع :

المشرف : أ.د. رافع ابراهيم الحميدي

المرتبة العلمية : أستاذ

التاريخ : 2025 / /

إقرار المقوم اللغوي

أشهد أن هذه الرسالة الموسومة بـ "دراسة رسوبية لتكوين أفانه في مقطعي اقويان وكلي دهوك، شمالي العراق" قد تمت مراجعتها من الناحية اللغوية وتصحيح ما ورد فيها من أخطاء لغوية وتعبيرية وبذلك أصبحت الرسالة مؤهلة للمناقشة بقدر تعلق الأمر بسلامة الأسلوب وصحة التعبير.

التوقيع :

الاسم : رافع عبد الغني يحيى

المرتبة العلمية : مدرس دكتور

التاريخ : 2025 / /

إقرار رئيس لجنة الدراسات العليا

بناءً على التوصيتين اللتين تقدم بهما المشرف والمقوم اللغوي أرشح هذه الرسالة للمناقشة.

التوقيع :

الاسم : عمر أحمد مولود البدراني

المرتبة العلمية : أستاذ

التاريخ : 2025 / /

إقرار رئيس القسم

بناءً على التوصيات التي تقدم بها المشرف والمقوم اللغوي ورئيس لجنة الدراسات العليا أرشح هذه الرسالة للمناقشة.

التوقيع :

الاسم : عمر أحمد مولود البدراني

المرتبة العلمية : أستاذ

التاريخ : 2025 / /

قرار لجنة المناقشة

نشهد بأننا أعضاء لجنة التقويم والمناقشة قد اطلعنا على هذه الرسالة وناقشنا الطالبة (امنة وليد حامد) في محتوياتها وفيما له علاقة بها بتاريخ 2025/2/6 وأنها جديرة لنيل شهادة الماجستير في اختصاص علوم الأرض / رسوبيات.

عضو لجنة المناقشة

الأستاذ المساعد الدكتور
فلاح عبد محمد

2025 / /

رئيس لجنة المناقشة

الأستاذ الدكتور
زيد عبد الوهاب ملك

2025 / /

عضو لجنة المناقشة (المشرف)

الأستاذ الدكتور
رافع إبراهيم عبدالله

2025 / /

عضو لجنة المناقشة

الدكتور
مها منيب محمود

2025 / /

قرار مجلس الكلية

اجتمع مجلس كلية العلوم بجلسته المنعقدة في 2025 / /
وقرر التوصية بمنحه شهادة الماجستير في علوم الأرض / رسوبيات .

عميد الكلية
الأستاذ الدكتور
هيام عادل ابراهيم

2025 / /

مقرر مجلس الكلية
الأستاذ الدكتور
مازن احمد عبد

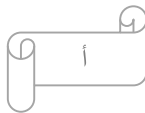
2025 / /

شكر وتقدير

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء وسيد المرسلين محمد وعلى آله وصحبه أجمعين ومن تبعه بإحسان إلى يوم الدين الحمد لله الذي يسر لي أمري وهداني إلى سبيل العلم ووفقني لإنجاز هذا العمل وما توفيقى إلا بالله فأحمده وأشكره على هذه النعمة وأقول لكل من صنع لي معروفاً وأعانني على إتمام هذا العمل "جزاك الله خيراً" وفي مقدمتهم أستاذي ومشرفي (الأستاذ الدكتور رافع إبراهيم الحميدي) الذي كان عوناً وسنداً وموجهاً لي ولم يدخر جهداً في ذلك فله جزيل الشكر والعرفان وأسأل الله أن يتقبل منا ومنه هذا العمل ، كما أود أن أعرب عن شكري إلى عمادة كلية العلوم وإلى إدارة قسم علوم الأرض وإلى جميع أساتذتي في الدراسات الأولية والدراسات العليا في قسم علوم الأرض ومنهم أ. د. زيد عبد الوهاب ملك و د. نور طلال و د. رؤى محمد و أ. م. د. فلاح المعماري و د. فليح الخاتوني و د. محمود الصميدعي ود. ربيع خلف وأ. م. د. صفوان فتحي د. وليد شنكالي من جامعة دهوك كما أشكر جميع من ساندني في شركة الحفر العراقية على التسهيلات التي قدموها لي ومنهم المدير العام لشركة الحفر العراقية الأستاذ خالد حمزة والأستاذ هادي الشمري.

وأهدي هذا العمل إلى والدي العزيز أطال الله عمره وحفظه لنا من كل سوء وإلى روح والدتي الغالية جمعنا الله وإياها في فردوسه الأعلى وإلى من كانت بمقام والدتي د. إيمان عادل وإلى سندي وفرحة عمري زوجي الغالي حفظه الله لي وإلى جدتي الغالية وإلى أخي وأختي العزيزين وإلى زميلاتي.

وأشكر كل شخص مدّ لي يد العون لإنجاح هذا العمل كما أشكر كل من فاتني ذكره ودعا لي بظهر الغيب ، وفي الختام أسأل الله سبحانه وتعالى أن يعينني على ذكره وشكره وحسن عبادته وأن يوفق جميع من يسعى لخير هذا البلد.



مستخلص

تمت دراسة التتابعات الصخرية لتكوين أفانه (Middle- Eocene) في مقطعين سطحين شمالي العراق، يقع الأول في منطقة اقوبان عند الغاطس الشمالي لطية سفين قرب شقلاوة وبسمك 8 أمتار، في حين يقع المقطع الثاني في منطقة دھوك عند الجناح الجنوبي من طية بخيروبلغ سمكه حوالي 52 متراً، وتتألف تتابعات صخور التكوين من الحجر الجيري والحجر الجيري المتدلمت والحجر الجيري المارلي والمارل إضافة لطبقات من السجيل الداكن. وسجلت الدراسة بعض التراكيب الرسوبية في بعض أجزاء التكوين مثل التطبق المتقاطع نوع عظم السمكة والتطبق المتقاطع العدسي والتشققات الطينية. وفي كلا المقطعين المدروسين يحد التكوين من الأسفل بصورة غير متوافقة مع تكوين جركس، في حين يحده من الأعلى وبشكل توافقي تكوين بلاسي. بتروغرافياً، تحوي صخور التكوين على الحبيبات الهيكلية من نوع الفوراميفرا القاعية كالمليوليد والروتاليد ومنها الكبيرة الحجم مثل الألفيوليني، إضافة إلى النواع والطحالب الخضر فضلاً عن حطام تلك الأحياء. وهذه الحبيبات مطمورة في أرضية ميكرايتية. كما أظهرت تتابعات التكوين تأثراً بالعديد من العمليات التحويرية مثل الدلمة والسمنتة والسلكتة وإعادة التبلور والأذابة والمكرتة والأنضغاط بنوعيه الفيزيائي والكيميائي فضلاً عن معادن موضعية النشأة. وبينت نتائج التحليل المعدني بجهاز حيود الأشعة السينية للنماذج الكلية للصخور الكربوناتية إلى أن الدولومايت هو المعدن الرئيس لها ومن ثم الكالساييت فضلاً عن بعض المعادن الطينية. سحنيًا، أظهرت نتائج التحليل السحني المجهرى والحقلي، أن تتابعات تكوين أفانه يتألف من ثلاث سحنات دقيقة رئيسة هي سحنات الحجر الجيري الطيني ووالحجر الجيري الواكي والحجر الجيري المرصوص، والتي بدورها قُسمت إلى ثماني سحنات ثانوية دقيقة. حقلياً قسم التكوين إلى ست سحنات، هي سحنة الحجر الجيري الحاوية على التطبق المتقاطع نوع عظم السمكة والحجر الجيري الحامل للتطبق العدسي والحجر الجيري الحامل للتشققات الطينية والحجر الجيري الحامل على الترققات والحجر الجيري الحامل لتراكيب الستروماتوليت فضلاً عن سحنة السجيل. بينت نتائج التحليل السحني أن التكوين مترسب في بيئة المسطحات المدية، إذ أظهر التحليل السحني أن الأجزاء السفلى مترسبة ضمن بيئات تحت المدية في حين الأجزاء الوسطى في بيئات بين المدية في حين أن الأجزاء العليا مترسبة ضمن بيئة المسطحات فوق المدية. أي ان التكوين مترسب ضمن سحنات متضحلة نحو الأعلى.

قائمة المحتويات

الصفحة	الموضوع	الفقرة
الفصل الأول: مقدمة		
1	تمهيد	1-1
2	موقع منطقة الدراسة	2-1
3	مقطع كلي دهوك	1-2-1
3	مقطع أقوبان	2-2-1
3	الدراسات السابقة	3-1
6	طرائق البحث	4-1
6	العمل الحقل	1-4-1
7	العمل المختبري	2-4-1
7	أهداف الدراسة	5-1
الفصل الثاني: الطباقية الصخرية		
9	تمهيد	1-2
9	سطوح التماس	2-2
9	سطح التماس السفلي	1-2-2
11	سطح التماس العلوي	2-2-2
12	تحديد عمر التكوين	3-2
13	مكافئات التكوين	4-2
15	الجغرافية القديمة	5-2
16	الوصف الصخري	6-2
16	الوصف الصخري لتكوين أفانه مقطع كلي دهوك	1-6-2
19	الوصف الصخري لتكوين أفانه مقطع اقوبان	2-6-2
الفصل الثالث: البتروغرافية والعمليات التحويرية		
23	تمهيد	1-3
23	البتروغرافية	2-3
23	الحبيبات	1-2-3
24	الحبيبات الهيكلية	1-1-2-3

24	الفورامنيفرا	1-1-1-2-3
25	الرخويات	2-1-1-2-3
25	الطحالب	3-1-1-2-3
27	حطام الأحياء	4-1-1-2-3
27	الحبيبات غير الهيكلية	2-1-2-3
27	دمالق	1-2-1-2-3
27	الفتاتات الصخرية	2-2-1-2-3
28	القاعدة الأرضية	2-2-3
29	المكرايت	1-2-2-3
29	السبار الدقيق	2-2-2-3
30	السمنت السباري	3-2-2-3
30	العمليات التحويرية	3-3
31	العمليات التحويرية البنائية	1-3-3
31	العمليات التحويرية الهدمية	2-3-3
31	العمليات التحويرية البنائية المتماثلة كيميائياً	1-1-3-3
31	السمنتة	1-1-1-3-3
33	التشكيل الجديد	2-1-1-3-3
34	إعادة التبلور	1-2-1-1-3-3
34	العمليات التحويرية البنائية غير المتماثلة كيميائياً	2-1-3-3
34	الدلمة	1-2-1-3-3
38	الديلمة	2-2-1-3-3
38	السلكة	3-2-1-3-3
39	العمليات التحويرية الهدمية	2-3-3
39	الانضغاط	1-2-3-3
39	الانضغاط الفيزيائي	1-1-2-3-3
40	الانضغاط الكيميائي	2-1-2-3-3
41	المكرتة	2-2-3-3
42	الإذابة	3-2-3-3
44	المعادن موضعية النشأة	4-2-3-3

45	البيئات التحويرية	4-3
47	المعدنية	5-3
48	المعادن غير الطينية	1-5-3
49	المعادن الطينية	2-5-3
الفصل الرابع: التحليل السحني وبيئة الترسيب		
53	تمهيد	1-4
54	السحنات الصخرية	2-4
54	سحنة الحجر الجيري الصخرية الحاوية على التطبق المتقاطع عظم السمكة (Herringbone)	1-2-4
54	السحنة الصخرية للحجر الجيري المتطبق العدسي	2-2-4
55	سحنة الحجر الجيري الصخرية الحاوية على التشققات الطينية	3-2-4
55	سحنة الحجر الجيري الصخرية لسجل	4-2-4
55	سحنة الحجر الجيري الصخرية الحاوية على الترفقات	5-2-4
55	سحنة الحجر الجيري الصخرية الحاوية على الستروماتوليت	6-2-4
56	السحنات الدقيقة في تتابعات تكوين أفانه	3-4
57	سحنة الحجر الجيري الطيني الدقيقة	1-3-4
57	سحنة الحجر الجيري الطيني الحاوية على فتاتات صخرية الثانوية الدقيقة	1-1-3-4
57	سحنة الحجر الجيري الطيني الدملي الثانوية الدقيقة	2-1-3-4
58	سحنة الحجر الجيري الطيني الحاوية على المتبخرات الثانوية الدقيقة	3-1-3-4
58	سحنة الحجر الجيري الواكي الدقيقة	2-3-4
58	سحنة الحجر الجيري الواكي الحاوية على الفتات الصخري الثانوية الدقيقة	1-2-3-4
59	سحنة الحجر الجيري الواكي الحاوية على الطحالب الثانوية الدقيقة	2-2-3-4
59	سحنة الحجر الجيري الواكي الدملي الثانوية الدقيقة	3-2-3-4
59	سحنة الحجر الجيري المرصوص	3-3-4

60	سحنة الحجر الجيري المرصوص الحاوية على الفورامنيبرا القاعية الثانوية الدقيقة	1-3-3-4
60	سحنة الحجر الجيري المرصوص الحاوية على المليونيد الثانوية الدقيقة	2-3-3-4
62	البيئات الترسيبية	4-4
62	تمهيد	1-4-4
62	البيئة الفوق مدية	1-1-4-4
63	البيئة البين مدية	2-1-4-4
64	البيئة التحت مدية	3-1-4-4
65	الموديل الرسوبي	2-4-4
الفصل الخامس: النتائج والاستنتاجات والتوصيات		
70	النتائج والاستنتاجات	1-5
72	التوصيات	2-5

قائمة الأشكال

الصفحة	الموضوع	رقم الشكل
1	توضح تتابعات من تكوين أفانة حقلية في مقطع أقوبان	1-1
2	خارطة تكتونية لشمالي العراق عن (Jassim and Buday,2006)	2-1
8	شكل جهاز الأشعة السينية	3-1
11	يوضح حد التماس السفلي بين تكويني أفانة وجركس في مقطع أقوبان	1-2
12	يوضح حد التماس السفلي بين تكويني أفانة وبلاسي في مقطع كلي دهوك	2-2
13	يوضح المضاهاة الطباقية لتكوينات عصر الأيوسيني (Jassim and Buday,2006)	3-2
14	يوضح المكافآت الأقليمية لتكوين أفانه (Buday,1980)	4-2
16	يوضح الجغرافية القديمة خلال فترة الأيوسين (Jassim and Buday,2006)	5-2
18	يوضح صور حقلية	6-2

20	يوضح حصور حقلية	7-2
21	يوضح العمود الطباقى لتكوين أفانه فى مقطع كلى دهوك	8-2
22	يوضح العمود الطباقى لتكوين أفانه فى مقطع أقوبان	9-2
28	يوضح الفتاتات الصخرية الداخلية حقلياً (كلى دهوك)	1-3
37	يوضح موديلات الدلمة وفقاً لـ (Warren,2000)	2-3
41	يوضح أنماط وأنواع الستايلولايت (Flugel,2004)	3-3
44	يوضح أنواع المسامية حسب تصنيف (Choquette and Pray,1970 in Flugel,2004)	4-3
47	يوضح أنواع البيئات التحويرية حسب تصنيف (Moore,2004)	5-3
51	مخطط حيود الأشعة السينية لنموذج رقم (7) فى مقطع أقوبان	6-3
51	يوضح مخطط حيود الأشعة السينية لنموذج رقم (9) فى مقطع كلى دهوك	7-3
52	يوضح مخطط حيود الأشعة السينية لنموذج رقم (17) فى مقطع كلى دهوك	8-3
56	تصنيف (Dunham,1962) المستخدم فى تسمية السحنات الدقيقة والصخرية	1-4
61	القواطع المضللة تحدد الأنطقة السحنية القياسية التى تقع ضمنها سحنات الدراسة الحالية فى موديل (Flugel,2004)	2-4
67	يوضح التوزيع السحنى لتكوين أفانه فى مقطع كلى دهوك	3-4
68	يوضح التوزيع السحنى لتكوين أفانه فى مقطع أقوبان	4-4
69	الموديل الرسوبى لتكوين أفانه فى مقاطع الدراسة الحالية	5-4



الفصل الأول

المقدمة

Introduction



1-1 تمهيد Preface:

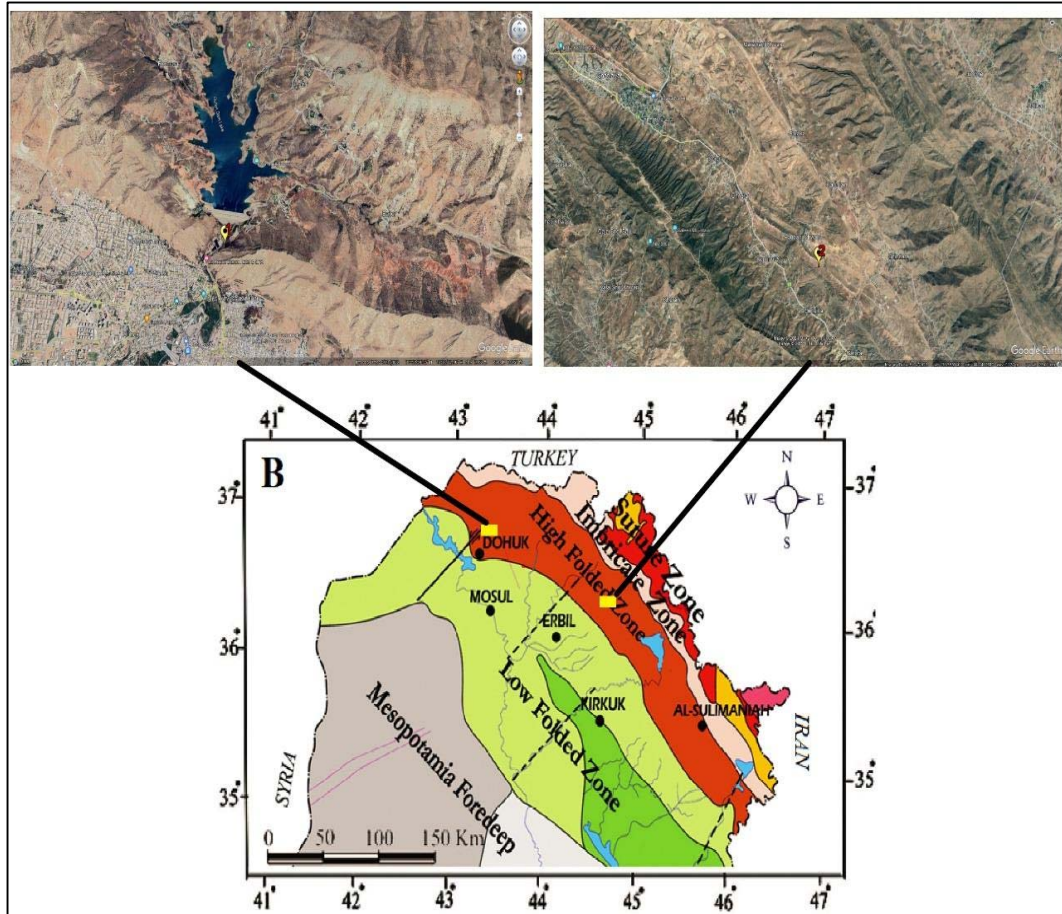
يعد تكوين أفانه أحد التكوينات التي تتكون من الحجر الجيري والحجر الجيري المتدلّمت والمارل المهمة الموجودة في شمالي العراق، إذ حدد (Bellen et al., 1959) عمر التكوين بالأيوسين الأوسط في حين أشار (Buday, 1980) إلى أن عمر التكوين محدد بالأيوسين الأوسط. يصل سمك التكوين في مقطعه النموذجي إلى 210 متراً وأما في المناطق الأخرى فقد يتراوح 30-50 متراً ويمتد حوالي 15 متراً وينتشر في شريط ضيق على طول الحدود الشمالية لنطاق الطيات الواطئة (non - fault zone). وصف هذا التكوين لأول مرة من Bellen et al., (1959) في بئر كركوك 116. في مقطعه النموذجي الواقع في قبة أفانه ضمن طية كركوك المحدبة شمال العراق. ويحوي هذا التكوين أهم أجناس المنخربات القاعية مثل Nummulites, Alveolina, Discocyclus (Bellen et al 1959). كما في الشكل (1-1)



الشكل (1-1) توضح تتابعات من تكوين أفانه حقلًا في مقطع اقوبان

2-1 موقع منطقة الدراسة :Location of the Study Area

تقع منطقة الدراسة في محافظتي دهوك وأربيل شمالي العراق. إذ تم اختيار مقطعين للدراسة وهي عبارة عن مكاشف سطحية واضحة المعالم. المقطع الأول هو مقطع كلي دهوك يقع في محافظة دهوك ، والمقطع الثاني هو مقطع اقوبان والذي يقع في مدينة شقلاوة التابعة لمحافظة أربيل إذ تم دراسة هذا المقطع لأول مرة كما في الشكل (2-1) . من الناحية التكتونية تقع منطقة الدراسة ضمن وحدة الرصيف غير المستقر (unstable shelf) والتي تقع ضمن نطاق الطيات العالية في أحواض الفورلاند (High folded zone in the foreland) اعتماداً على تقسيم (Jassim and Buday 2006).



الشكل (2-1) خارطة تكتونية لشمالي العراق عن (Jassim and Buday,2006)

1-2-1 Kali Duhok Section كلي دهوك

ينكشف تكوين أفانه في طية بيخير في محافظة دهوك وتحديداً في كلي دهوك على الجناح الجنوبي من طية بيخير. عند تقاطع إحداثيات خطوط عرض ($36^{\circ} 52'21.70''$ N) وخطوط الطول ($43^{\circ} 0'13.15''$ E) ، ويبلغ سمك التكوين في هذا المقطع حوالي 52 متراً.

2-2-1 Aquban Section أقوبان

ينكشف تكوين أفانه في مدينة شقلاوة في الجناح الشمال الشرقي من طية سفين (قرب قرية أقوبان في مدينة شقلاوة التابعة لمحافظة أربيل) عند تقاطع إحداثيات خطوط عرض (36°) وخطوط الطول ($20'32.73''$ N) وخطوط الطول ($44^{\circ} 25'57.18''$ E) ، ويبلغ سمك التكوين في هذا المقطع حوالي (8) أمتار.

3-1 الدراسات السابقة:

لقد تناولت عدة دراسات تكوين أفانه من حيث الدراسة الرسوبية والطبقية وعلم الحفريات مثل دراسة (Al-Omari and Sadek, 1975) و (Karim, 2006) و (البنا والمتولي, 2005) و (Abdullah et al., 2020) وغيرهم.

وقد اختلف الباحثون في دراساتهم لطبيعة هذا التكوين فمنهم من عدّه تكوين أفانه (شاربازيري, 1983) في حين اقترح آخرون تسميته بالطبقات الصخرية الحاملة لمستحاثات الالفوليني (Al-Omari and Sadek, 1975) وذهب البعض الآخر إلى عدّه عدسات أو الستة سحنية متداخلة مع التكوينات الأخرى (Karim, 2006).

قام (Bellen et al., 1959) بدراسة منطقة كركوك بئر كركوك 116 وأشار إلى وجود

تكوين أفانه بقبة أفانه في طية كركوك المحدبة.

كما درس (شاربازيري, 1983) بئر الكوير في منطقة الكوير إذ قاما بدراسة المنطقة من الناحية الحياتية وأشارا إلى وجود وحدة صخرية تحتوي على متحجرات الالفولينيذ إذ يعدّ هذان الباحثان أول من أشار إلى وجود تكوين أفانه.

ودرس (شاربازيري, 1983) منطقة العطشان في بئر عطشان إذ درس الباحثان المنطقة من الناحية الحياتية والرسوبية وأشارا إلى أن التكوين يتألف من الحجر الجيري الأبيض المائل إلى الاصفرار والمتدلّمت جزئياً ويحتوي على (Nummulites, Discocyclina).

ونذكروا أن تكوين أفانه متواجد في أماكن مختلفة من القطر إذ درسوا التكوين من الناحية الرسوبية والحياتية ووجدوا أنه مكون من وحدات صخرية كاربوناتية متدلّمة ومعادة التبلور واكتشفوا البيئة الترسيبية لهذا التكوين وهي بيئة ضحلة وحددوا عمر التكوين بالايوسين الأوسط إلى الايوسين الأعلى (Bellen et al., 1959).

ودرس (Al-Omari and Sadek, 1975) منطقة دهوك (كلي دهوك) من الناحية الحياتية وأشارا إلى وجود طبقات بعمر الايوسين الأوسط حاوية على مستحاثات الالفولينيذ واستنتج الباحثان أن أقرب وحدة صخرية مشابهة للطبقات هي تكوين أفانه.

كما درس (العكيدى، 1990) التكوين في منطقتي عين زالة ودهوك من الناحية الطباقية الحياتية وأشار إلى وجود تكوين أفانه في كليهما.

وأشارت الباحثة (العكيدى، 1990) إلى وجود تكوين أفانه وحددت عمره بالايوسين الأوسط وذلك بواسطة دراستها لمنطقة سنجار من الناحية الحياتية.

أما (شاربازيري، 1983) فقد درس التكوين في منطقة دهوك من الناحية الحياتية وأشار إلى وجود تكوين أفانه الحاوي على مستحاثات الروتاليد والمليوليد والالفولينيذ وأشار إلى أن بيئة ترسيب هذا التكوين متغايرة بين مياه ضحلة ساحلية -حاجز لاكوني.

وحددت (العكيدي 1990) بيئة الترسيب للتكوين بأنها متغايرة بين مياه ضحلة ساحلية - حاجز لاکوني وذلك عن طريق دراستها متحجرات الاوستراکود العائدة للايوسين الأوسط في منطقة دهوك .

وكذلك درس (خلف والعكيدي, 1994) التكوين في منطقة دهوك من الناحية الحياتية وأشار إلى أن بيئة الترسيب هي بيئة ضحلة وبيئة حواجز .

في حين حدد (السكري, 1999) بيئة ترسيب تكوين أفانه بانها لاکونية إذ درس هذا التكوين في منطقة شقلاوة ودوكان بواسطة الدراسة السحنية والطباقية الحياتية.

ووجد (البازي, 2003) تداخلات بين عضو أفانه وتكوين جركس في دراسته منطقة دهوك من الناحية الحياتية .

أما (Al-Doski, 2004) فدرس تركيبية منطقة دهوك ووجد أن تكوين أفانه يزداد سمكاً باتجاه شمال غرب دهوك .

وقام كل من (Al-Banna and Al-Mutwali, 2005) بدراسة تداخلات تكوين أفانه مع تكوين جدالة من الناحية الرسوبية والحياتية قرب منطقة سسـنـجار ، وأهتمّ (Al-Banna and Al-Mutwali, 2005) بدراسة تكوين أفانه في منطقة سنـجار شمال غرب العراق وأشار إلى أن بيئة الترسيب هي بحيرات شاطئية مغلقة إذ قام الباحثان بدراسة رسوبية تضمنت السحنات الدقيقة وبيئة الترسيب لتكوين أفانه.

أشار كل من (Jassim and Buday, 2006) إلى أن تكوين أفانه في كافة أنحاء القطر مكون من الصخور الكربوناتيـة المترسبة في بيئة اللاکون.

ودرس (Al-Hashimi and Amer, 1985) التكوين من الناحية الرسوبية ووجد أن هذا التكوين يمثل سحنة الرصيف البحري (المنطقة الخارجية للرصيف البحري) .

أما (إسماعيل, 2006) فقد درس تكوين أفانه في منطقة حوض سنجار من الناحية الرسوبية والحياتية وأشار إلى أن بيئة الترسيب هي بيئة بحيرات شاطئية مغلقة ضمن مناطق الرصيف الداخلي. ودرس (karim, 2006) تكوين أفانه في منطقة سرتك بمو شمال شرق العراق من الناحية الطباقية الحياتية وحدد بيئة الترسيب هي لآكون مفتوح .

4-1 طرائق البحث Methodology:

استُخدمت العديد من الطرائق والأساليب البحثية في إكمال متطلبات الدراسة الحالية والتي تضمنت جانبين أساسيين هما الأول: ويشمل العمل الحقلية والنمذجة والوصف الحقلية الدقيق لتتابعات الصخرية لتكوين أفانه. أما الجانب الثاني فيشمل التقنيات المختبرية كالوصف المجهرية و القيام بتحليل عدد من النماذج الكلية للصخور الكربوناتية باستخدام جهاز الأشعة السينية الحادثة (XRD) وصولاً إلى التحليل السحني الدقيق واستنباط البيئة الترسيبية لبناء الموديل الرسوبي المحتمل. وفيما يأتي أهم الأساليب المتبعة في الدراسة الحالية :

1-4-1 العمل الحقلية Field Work

يتضمن العمل الحقلية وصفاً دقيقاً وتفصيلاً يشمل كافة الظواهر الحقلية كالتراكيب الرسوبية وطبيعة التطبق والصلابة والتغايرات اللونية والمحتوى الحياتي الواضحة للعيان في المكاشف الصخرية لمقطع الدراسة وجمع النماذج الصخرية للمقطعين اعتماداً على الاختلاف في الخواص الفيزيائية للصخور إذ تم وصف الطبقات الصخرية بناءً على اللون والسلك والصلابة وطبيعة التطبق والمحتوى الحياتي وتحديد التراكيب الرسوبية فضلاً عن تحديد حدود التكوين العليا والسفلى مع التكوينات الأخرى. إذ تم جمع (50) نموذجاً والنقاط صور حقلية لبعض المظاهر والصفات الحقلية لتكوين أفانه.

1-4-2 العمل المختبري Laboratory:

يتضمن العمل المختبري المراحل الآتية :

A- تهيئة الشرائح Thin Section :

أعدت شرائح صخرية في الورشة الجيولوجية التابعة لقسم علوم الأرض كلية العلوم في جامعة الموصل فضلاً عن مختبرات كلية العلوم جامعة تبريز في إيران ولتعزيز دقة العمل ودراسة هذه الشرائح مختبرياً تحت المجهر المستقطب من أجل التعرف على خصائص البتروغرافية لصخور تكوين أفانه والمحتوى الحياتي الدقيق فضلاً عن تحديد العمليات التحويرية المؤثرة على صخور منطقة الدراسة ودراستها.

B- التحليل المعدني Mineral Analysis :

يهدف إلى التعرف على معدنية صخور تكوين أفانه وعلاقتها بالبيئة الترسيبية وتحديد الظروف البيئة التي ترسب بها هذا التكوين تم إجراء تحليل بالأشعة السينية الحادة X Ray Diffraction (XRD) في مركز البحث والتطوير التابع لوزارة الصناعة والمعادن في بغداد الشكل (3-1). إذ تم تحليل (5) نماذج مختارة من صخور الحجر الجيري لتكوين أفانه لمقطعي الدراسة .

1-5 أهداف الدراسة Aims of the Study

A. تحديد المكونات الصخرية المكونة لتكوين أفانه وكذلك العمليات التحويرية التي أثرت على صخور التكوين عن طريق الدراسة البتروغرافية .

B. الدراسة المعدنية لصخور تكوين أفانه لتفسير المعطيات البيئية .

C. استنتاج البيئة الرسوبية القديمة واقتراح موديل رسوبي عن طريق تحديد سحنات تتابعات

تكوين أفانه في مقطع الدراسة .



شكل (1-3) يوضح جهاز الأشعة السينية

الفصل الثاني
الطباقية الصخرية

**Litho-
Stratigraphy**

2-1 تمهيد Preface :

يظهر تكوين أفانه في شمال العراق وتقع مكاشف التكوين ضمن وحدة الرصيف غير المستقر (Unstable shelf) والتي تقع ضمن نطاق الطيات العالية (High folded zone) . إذ يعد تكوين أفانه من التكوينات التي ترسبت في الدورة العاشرة (Arabian Plate AP10) بعمر الايوسين الأوسط - المتأخر (Jassim and Buday, 2006) . و سيتم في هذا الفصل دراسة توزيع الوحدات الصخرية وما تملكه من صفات حقلية وطبيعة سطوح تماسها ومحتواها الحياتي والتراكيب الرسوبية . إذ ترسبت تتابعات هذا التكوين في الدورة الترسيبية الثانية (دورة نهاية الايوسين المبكر والايوسين المتأخر) ضمن الدورات الترسيبية الخمس لترسيات العصر الثلاثي في العراق (Buday, 1980) . أما (Numan, 2001) فقد أشار إلى أن التتابعات الطباقية لمنطقة الدراسة تقع ضمن نطاق الطيات العالية في أحواض الفورلان (High folded zone of the foreland basin) وما يميز هذه المنطقة على العموم هو تكوين حزام من الالتواءات والتقبات السطحية الطولية وبنسب متفاوتة (الساكني, 1992).

2-2 سطوح التماس contact surface :

يعد التعرف على أسطح أو حدود التماس وما تملكه من خصائص صخرية وعلاقات مع التكوين الأخرى من الأمور الأساسية والمهمة في تحديد طباقية أي تكوين. وتعد أسطح التماس لتكوين أفانه في مكاشف ومقاطع الدراسة واضحة جداً في الحقل ويسهل تمييزها.

2-2-1 سطح التماس السفلي Lower contact :

يتباين ظهور الحد السفلي لتكوين أفانه بتباين الموقع الجغرافي، ولكن بصورة عامة فقد تم وصفه بالطبيعة غير التوافقية، إذ حدد العالم (شاربازيري, 1983) حد التماس السفلي لهذا

التكوين في منطقة دهوك وزاخو بسطح طبقة مارلية حاوية على عدسات الجبس وبقايا النباتات القارية. وتبعاً لـ(شاربازيري, 1983) فإن تتابعات جركس تنتهي بطبقة رقيقة من المدملكات (50cm) المغطاة برقائق الجبس الثانوية (30cm) في منطقة كلي دهوك، والتي تعلوها طبقات جيرية عائدة لتكوين أفانه والحاوية على متحجرات الفورامنيفرا القاعية والتي تشمل الروتاليد والمليوليد، وأيضاً الرخويات وقنافذ البحر. وقد أكد (Al-Nuaimi, 2011) أن التكاوين التي تتموضع أسفل تكوين أفانه تختلف بتيابن المقاطع المدروسة، ففي مقاطع حقل كركوك يحده من الأسفل تكوين خورماله، وتكوين جركس في مقطع دهوك، و تكوين جدالة في مقطعي بطمة وعين زالة. وتبعاً لـ (Al-Omari and Sadek 1973) فإن هناك طبقات انتقالية مابين تكويني جركس وبيلاسبي إذ تتكون من تعاقب طبقات الحجر الجيري الطباشيري الأبيض والحجر الجيري المارلي فوق طبقة المدملكات التي تعلو تكوين جركس، وقد استدل على طبيعة غير التوافقية لهذا السطح في منطقة دهوك وذلك بواسطة المدملكات والعدسات الجبسومية التي تختتم تتابعات تكوين جركس. أما (يحيى 1995) فقد لاحظ أن هذا الحد متدرج في منطقتي دهوك وشقلاوة. وقد تبين من خلال الدراسة الحقلية أن سطح التماس السفلي بين تكوين أفانه وتكوين جركس يمتاز بطبيعة غير توافقية إذ لوحظ طبقات من conglomerate في كلا المقطعين . كما في الشكل (1-2).



الشكل (1-2) توضح حد التماس السفلي بين تكويني أفانه وجركس في مقطع اقوبان

2-2-2 سطح التماس العلوي Upper contact :

تماماً مثل الحد السفلي، إذ تتباين أسطح التماس العلوية لتكوين أفانه بتباين الموقع الجغرافي. وقد أشار (شاربازيري، 1983) إلى التغير المفاجئ لسحنة الحجر الجيري الالفوليبيدي لتكوين أفانه إلى سحنة لاغونية تابعة لتكوين بيلاسبي في منطقة دهوك. وقد أشار العالم (شاربازي، 1983) إلى الطبيعة التوافقية لهذا السطح في منطقة دهوك. وأما الباحث (ملك، 2011) فقد عدّ السطح التماس بين تكوين أفانه وبيلاسبي في منطقة سرسنك سطحاً توافقياً. أما (Al-Nuaimi, 2011) فقد أشار إلى تباين التكوينات التي تعلو تكوين أفانه بتباين مواقعها الجغرافية، ففي مقاطع أتروش وشيخان وبخير تكوين بيلاسبي، وتكوين الفرات في مقطع بطمة وتكوين جدالة في مقطع عين

زالة. ويمتاز سطح التماس العلوي بين تكوين أفانه وتكوين بيلاسبي الذي يعلوه بطبيعته التوافقية في كلا المقطعين كما مبين بالشكل (2-2)



الشكل (2-2) توضح حد التماس العلوي بين تكويني أفانه وبيلاسبي في مقطع دهوك

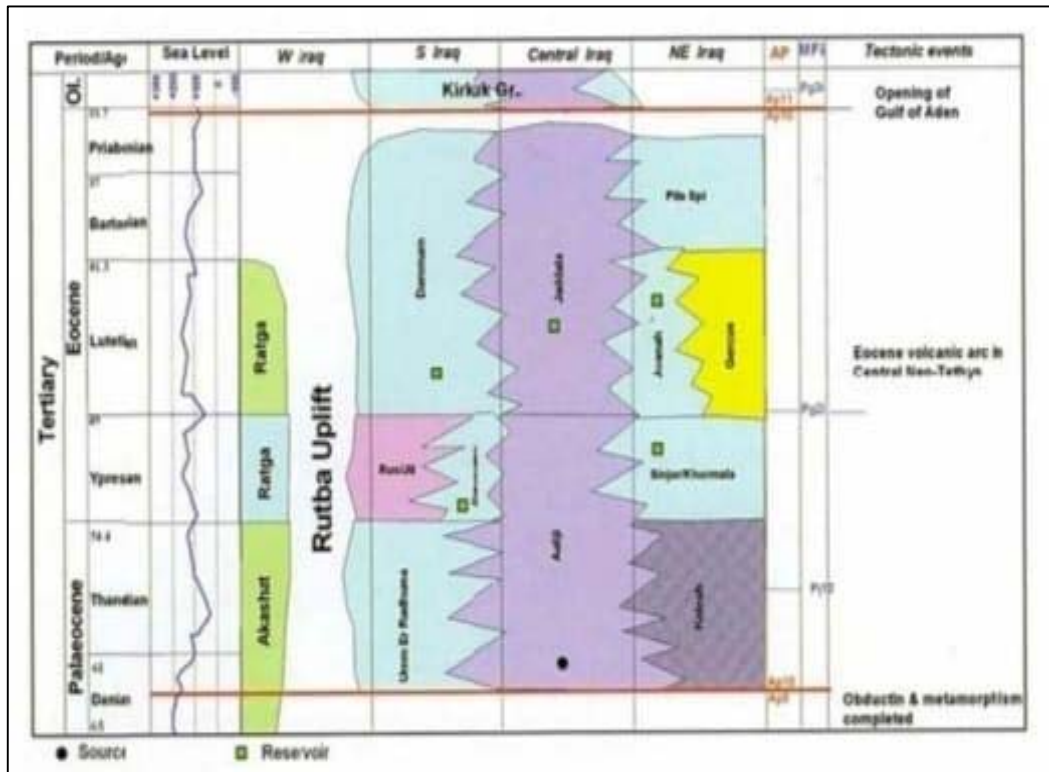
3-2 تحديد عمر التكوين : Age Determination

بالاعتماد على المحتوى الحياتي فقد أشار كل من (Bellen et al.1959) و (Al-Hashimi and Amer, 1985) إلى أن عمر تتابعات تكوين أفانه هو (Middle- Late Eocene). في حين ذهب أغلب الباحثين، ولاسيما المتخصصين منهم بالجانب الحياتي إلى أن عمر تتابعات تكوين أفانه هو (Middle Eocene). ومنهم (شاربازيري, 1983) الذي قام بدراسة التكوين في مقطعي كلي دهوك وبيسري، (Al-Omari and Sadek, 1975) الذي درس التكوين في منطقة كلي دهوك، و(العكدي, 1990) التي تناولت في دراساتها للتكوين في مقطع كلي

بيسري. ومن الجدير بالذكر أن لمتحجرات الفورامنيفرا القاعية أهمية كبيرة في تحديد البيئة الترسيبية لتكوين، إذ عدَّ كل من (Al-Qayim and Ghafor, 2022) أن متحجر الـ (Nummulites) هو من عمر (Middle Eocene) والذي يتواجد بوفرة في هذا التكوين.

2-4 مكافآت التكوين Formation Equivalents :

يكافئ تكوين أفانه عمرياً العديد من التكوينات سواء في العراق أم في الدول المجاورة. فقد وجد أنه يكافئ في العراق تكوينات جركس شمالاً وجدالة غرباً ودمام جنوباً كما في الشكل (2-2). (3)، (4-2). أما إقليمياً فإنه يكافئ تكوينات (Pabdeh, Kashkan, Shahbzan, Jahrum) في إيران، كما أنه يكافئ تكوين (Midyat) في جنوب تركيا وشمال شرق سوريا وتكوين (Hibr) في السعودية (Buday, 1980).



الشكل (2-3) يوضح المضاهاة الطباقية لتكوينات عصر الأيوسيني (Jassim and Buday, 2006)

CORRELATION OF THE LATE LOWER EOCENE - UPPER EOCENE FORMATIONS				
LOWER EOCENE	MIDDLE EOCENE	UPPER EOCENE	A G E	
			A R E A	
Dammam Formation		absent	E. SAUDI ARABIA SW. IRAQ E. OF THE GA'ARA UPLIFT KUWAIT	10
Salla and Nidra Members	Alat, Khobar, and Alveolina Limestone Members			11
N i b r F o r m a t i o n			W. SAUDI ARABIA	12
Sar's Chalk and Flint Form. /upper part/	Ma'an Nummulitic Limestone Formation	Dhahbiye Chalk Formation	E. JORDAN	13
Dammam Formation with chert and sometimes sandy-marly beds		absent	E. SYRIA W. IRAQ W. OF THE GA'ARA UPLIFT	14
J a d d a l a F o r m a t i o n /P a l a n i F o r m a t i o n/			SYRIA - IRAQ JETIRA AREA N. OF EUPHRATES	15
Chalky and nummulitic limestones and marls		Chalky and marly limestones	CENTRAL SYRIA SW. OF EUPHRATES /NW. PALMYRIDES/	16
Dammam Formation		absent ?	S. IRAQ - S. OF THE AMASIL - AMARA LINE SCHIBCHA SUBZONE, MESOPOTAMIAN ZONE	17
Chalky units	Nummulitic units			18
J a d d a l a F o r m a t i o n /P a b d e h F o r m a t i o n in the S./			MESOPOTAMIAN ZONE /NE. OF THE AMASSIL-AMARA-LINE/ FOOTHILL ZONE /UP TO THE GUSSEIR LINE/ NE. SYRIA /JEBEL ABD EL AZIZ/	19
A v a n a h L i m e s t o n e F o r m a t i o n /I r a q / M i d y a t L i m e s t o n e /S y r i a - T u r k e y/			IRAQ - KIRKUK - QALIAN SUBZONES NE. SYRIA-S. TURKEY /HARDIN-QAMISHLI AREA/	20
Gercus Formation	Pila Spi Limestone Formation		IRAQ - CHEMCHIMAL SUBZONE AND SW. HIGH FOLDED ZONE S. TURKEY /CIERT-HAIRD AREA/	21
P a b d e h F o r m a t i o n /locally Jarum Formation/			E. ZAGROS COASTAL RANGES	22
Kashkan Formation Pabdeh Formation	Shah Baxan Formation Jarum Formation		E. ZAGROS INNER RANGES	23
absent			IRAQ NE. HIGH FOLDED ZONE /AMADYA-RANYA AREA/ NORTHERN THRUST ZONE	24
Suweis Group	Upper Suweis Group /IV/ /Bedevi Formation in the Turkey/		IRAQ - IMBRICATED ZONE E. TURKEY HAKKARI AREA	25

الشكل (4-2) يوضح المكافئات الإقليمية لتكوين أفانه (Buday, 1980)

2-5 الجغرافية القديمة Paleogeography

تبعاً لـ (Dunnigton, 1958) فإن الحركات التكتونية التي حدثت في عصر (Late Campanian –Mastrichtian) أدت إلى تكوين منخفضات (Graben) ومرتفعات (Horst) في عموم المنطقة. وبذلك فإن تتابعات العصر الثلاثي تنقسم إلى خمس دورات رسوبية حسب (Buday, 1980) وهي :

1. دورة الباليوسين –الايوسين الأسفل.

2. دورة الايوسين الأسفل المتأخر –الايوسين الأعلى.

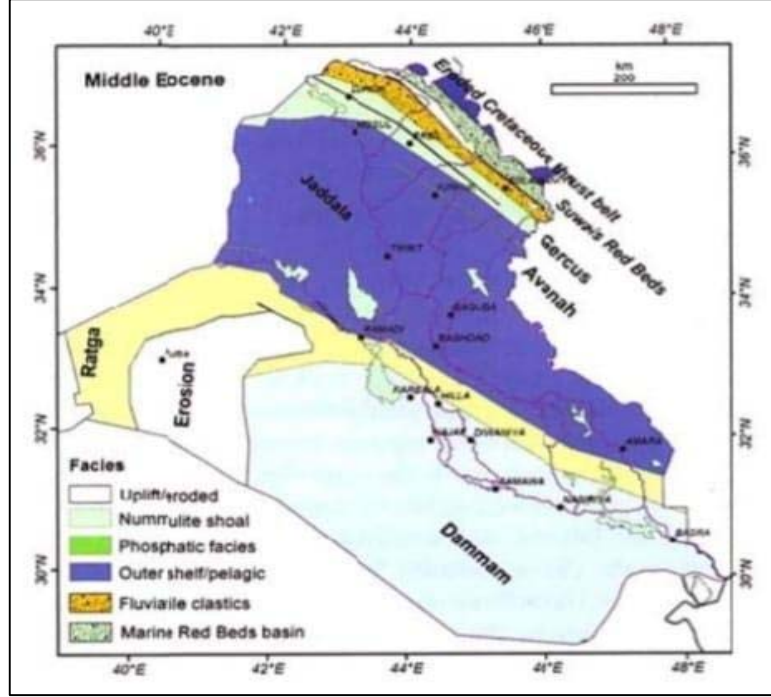
3. دورة الإليجوسين.

4. دورة المايوسين الأسفل –الأوسط.

5. دورة المايوسين العلوي – البليوسين.

تطورت في أثناء الدورة الترسيبية الأولى أحواض الجيوسنكلين التي أدت إلى ظهور تعقيدات في تضاريس شمالي العراق. وانتهت هذه الدورة بتراجع البحر وارتفاع المنطقة وبذلك أدى إلى تعرية بعض أجزائها و لاسيما مناطق شمال شرقي نطاق الرف غير المستقر (Buday, 1980) . اما في الدورة الترسيبية الثانية فقد حدث تقدم بحري واسع بسبب اصطدام مابين حافة الصفيحة العربية الخاملة والحافتين النشطتين للصفيحتين الإيرانية والتركية وسبب تجلس المنطقة ويلي هذا الاصطدام تكوين بحار قارية محلية في الأيوسين المتأخر والاليجوسين والمايوسين المبكر (Numan, 2001) . وتبعاً لـ (Buday, 1980; Dunnigton, 1958; Ditmar, 1971) فإن هذه الدورة وبسبب الفعاليات التكتونية والتغير في مستوى سطح البحر تميزت بتلاسن سحنات تكويناتها المتكافئة ولاسيما تكوينات بيلاسبي وأفانه وجركس الشكل (2-5). وفي عصر الأيوسين

حدثت المرحلة الأولى من الاصطدام وذلك عندما بدأت حافة الصفحة القارية العربية بالارتفاع والتمدد حول الإنتفاخ الخارجي قبل حدوث الغوران وتعتبر هذه الإشارة أو العلامة الأولى على حدوث الاصطدام .



الشكل (2-5) يوضح الجغرافية القديمة خلال فترة الأيوسين (Jassim and Buday, 2006)

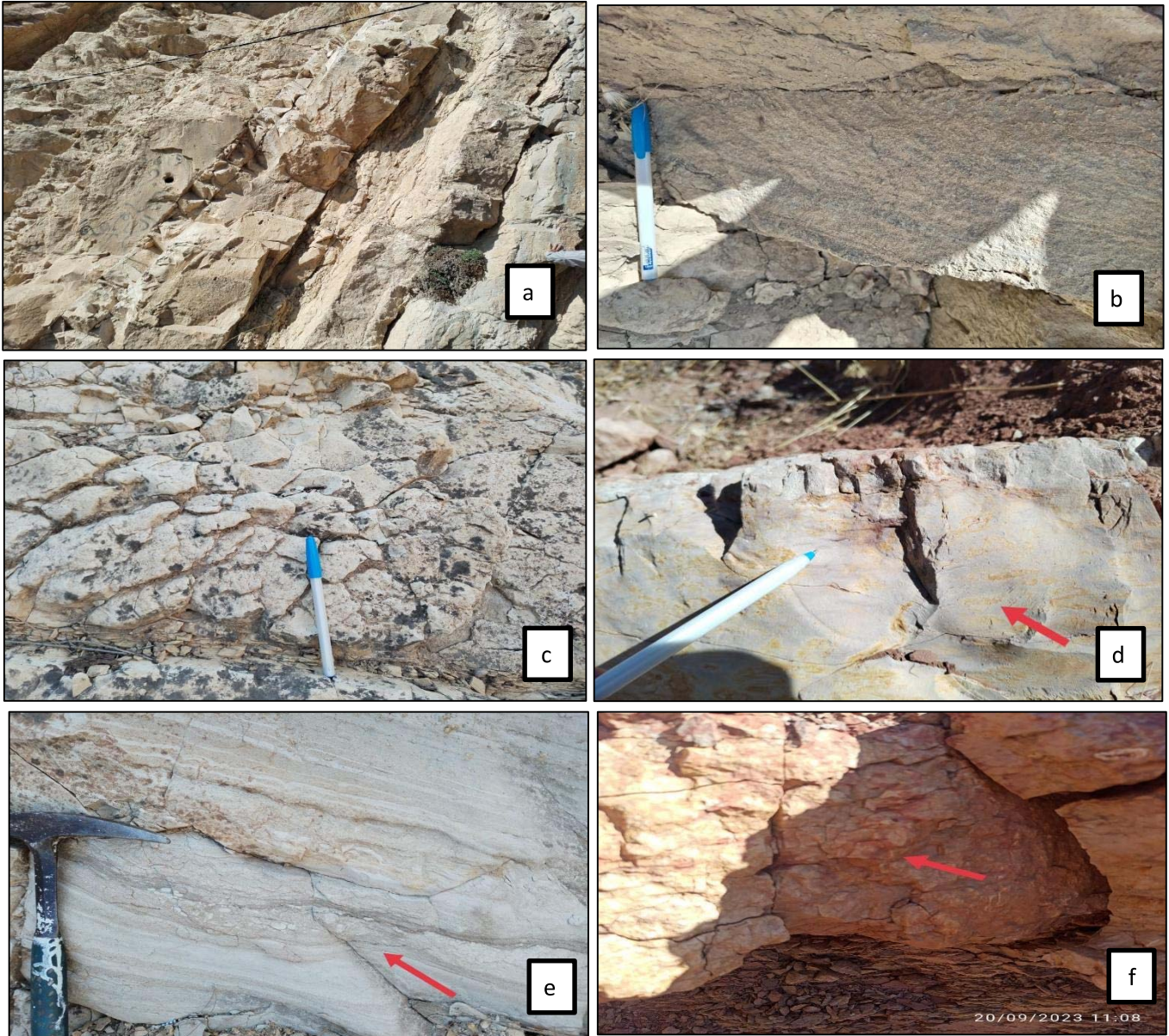
2-6 الوصف الصخري Lithological Description :

2-6-1 الوصف الصخري لتكوين أفانه مقطع كلي دهوك :

يبلغ سمك تكوين أفانه في مقطع كلي دهوك حوالي (52m) ويحده من الأسفل تكوين جركس ومن الأعلى تكوين بيلاسبي، إذ تتألف تتابعات تكوين أفانه من الحجر الجيري والحجر الجيري المتدلمت والدلومايت والحجر الجيري المارلي والمارل، كما في الشكل (2-6a).

يبدأ التكوين في هذا المقطع بطبقات من المارل والحجر الجيري المارلي بسمك (70cm) ذات لون رمادي فاتح. تليها طبقات من الحجر الجيري المارلي والحجر الجيري إذ يبلغ سمكها

متر و(40cm) والتي تمتاز باللون الرمادي الفاتح، والتطبيق الواضح. تتبعها طبقات من الحجر الجيري المارلي ذات سمك(60cm) ولون رمادي فاتح. ثم تتبعها أربع أمتار من طبقات المارل المتداخلة مع طبقات الحجر الجيري المارلي الهش، وأحياناً يظهر ترقق واضح (Fissility). تم تتابع طبقات من الحجر الجيري المتدلمت مع طبقات من المارل ويبلغ سمكها ثمانية أمتار تقريباً. كما نلاحظ تركيب الرسوبي الذي يشبه عظم السمكة (Herring Bon)، كما في الشكل (b6-2). وتتبع هذه الطبقات المتداخلة طبقات من الحجر الجيري المتدلمت الصلب، والذي يبلغ سمكه حوالي (1.5m) بلون رمادي فاتح. ثم تليها طبقات من الحجر الجيري المارلي ويبلغ سمكها(30cm). وتليها أيضاً طبقات من الحجر الجيري المتدلمت بسمك (2m). وتليها طبقات من الحجر الجيري المارلي الهشة جيدة الترقق بسمك (1.20) m. ثم تتبعها طبقات من الحجر الجيري المتدلمت الكتلي ذات لون رمادي فاتح والذي يحتوي متحجر (Alveolinide)، بسمك 5.50m. وتليها طبقات من الحبيبات الكربونائية التي تتميز بالتطبيق الدقيق التركيب التطبيق المتقاطع الذي يشبه عظم السمكة (Herring bon) بسمك 70 cm. وتليها تتابع من طبقات الحجر الجيري والحجر الجيري المتدلمت والتي تتميز بالتطبيق السميك ويبلغ سمكها 6m. وتليها طبقات غطاء بسمك 2m. وتليها تتابع من طبقات الحجر الجيري والحجر الجيري المارلي والتي يتخللها طبقات من المارل بسمك 1.40m. تليها تتابع من طبقات من الحجر الجيري المارلي والمارل التي تتميز بلون رمادي فاتح وبسمك 5m. وأيضاً تليها طبقات من الحجر الجيري المارلي التي تتميز بلون رمادي فاتح وبسمك 60cm ثم تتابع طبقات من الحجر الجيري الدولومايتي السميك والمارل وبسمك 12m. كما توجد التشققات الطينية التي تدل على الانكشاف يوضح العمود الطباقى لتكوين أفانه في مقطع كلي دهوك السطحي، كما في الشكل (c6-2). فضلاً عن تواجد لتراكيب الستروماتولايت، الشكل (d7-2).



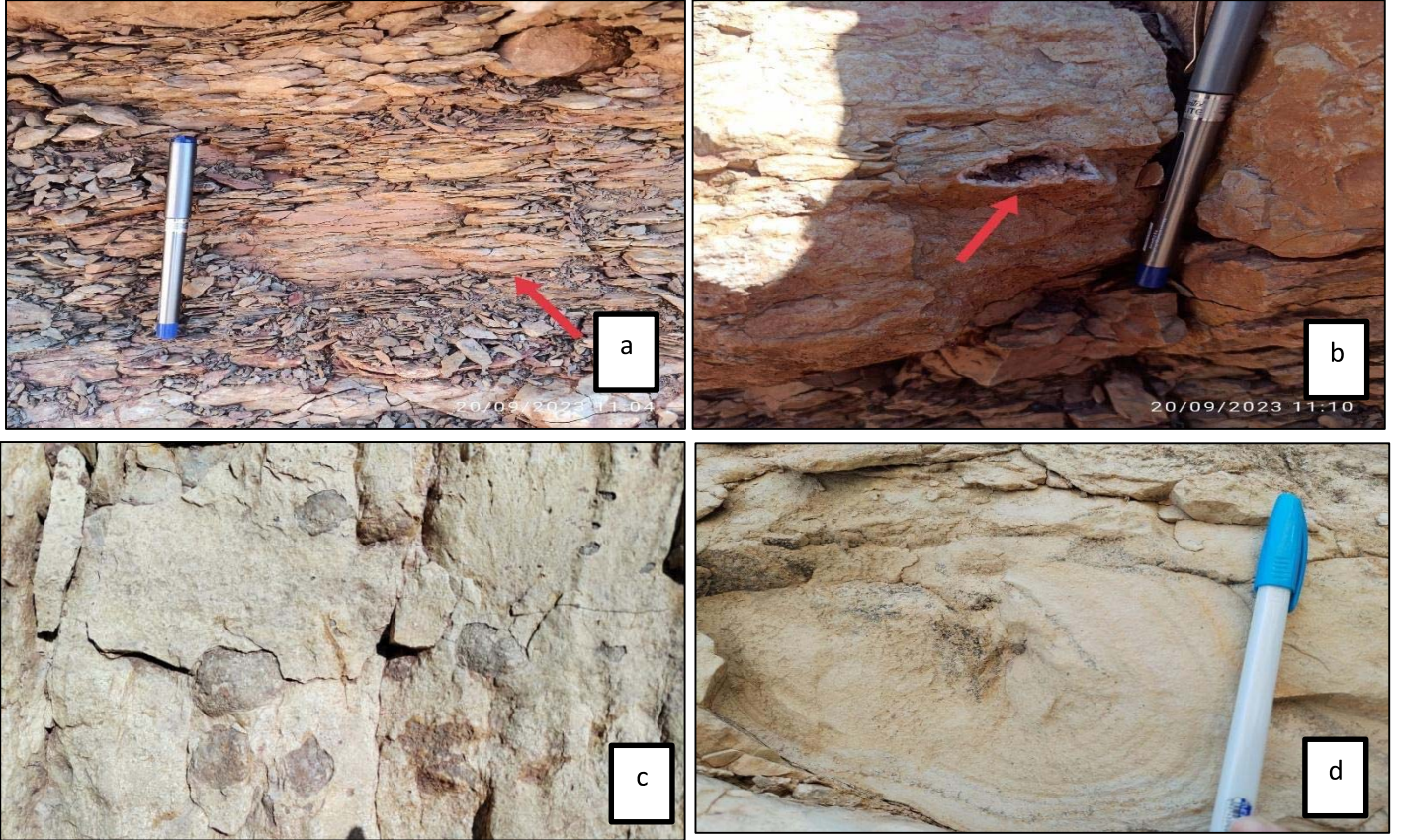
الشكل (2-6): (a) توضح تتابعات من المارل والحجر الجيري والمتدلتمت في الجزء العلوي من مقطع كلي دهوك، الشكل (b) يوضح تركيب (Herringbone Cross-bedding) في مقطع كلي دهوك، الشكل (c) يوضح تراكيب التشققات الطينية (مقطع كلي دهوك)، الشكل (d) يوضح التطبق العدسي (مقطع اقوبان)، الشكل (e) توضح التطبق العدسي وتركيب الترقق (Lamination) (مقطع كلي دهوك)، الشكل (f) توضح تراكيب الجيبات (Gipps) (مقطع اقوبان)

2-6-2 الوصف الصخري لتكوين أفانه مقطع أقوبان:

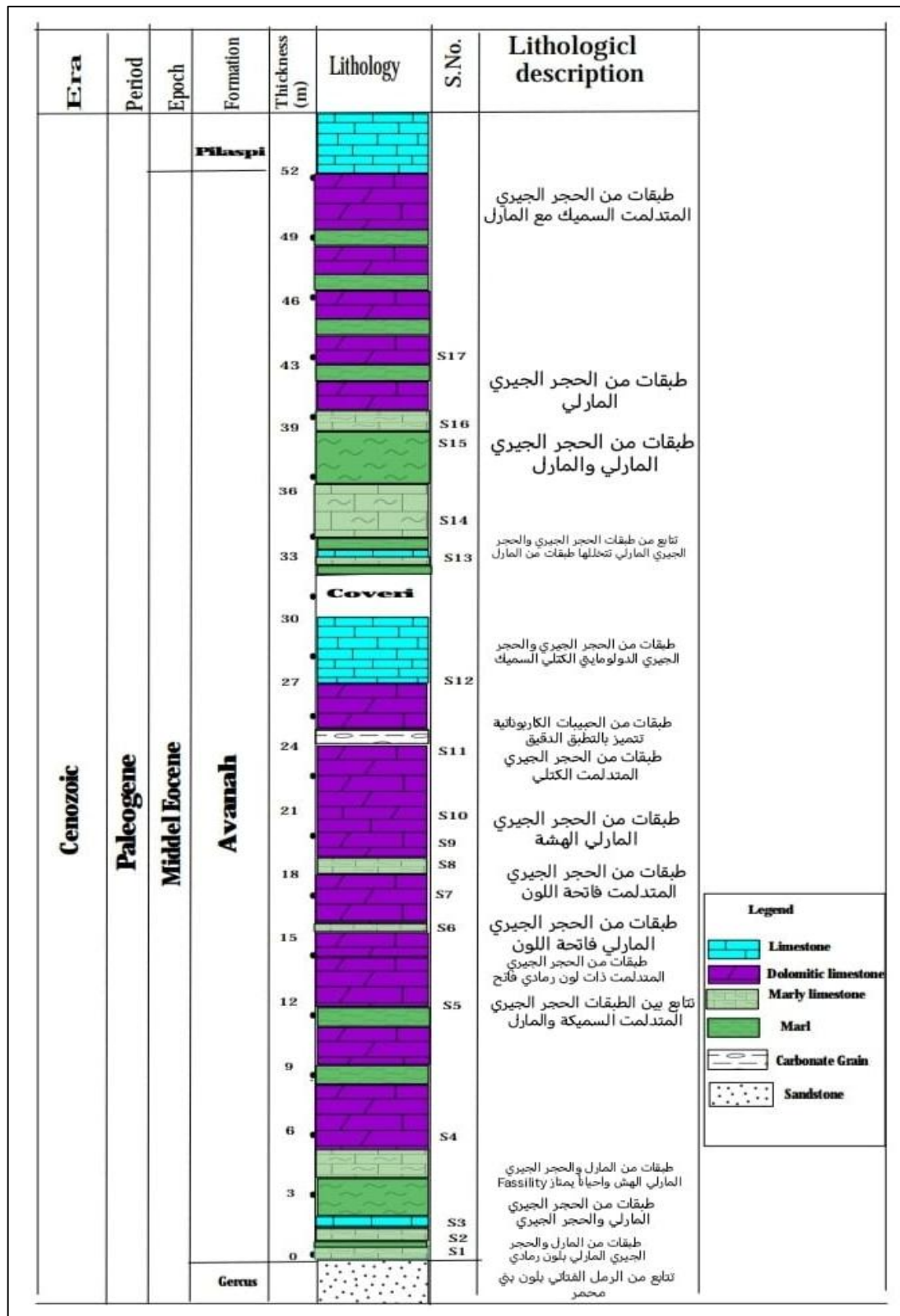
يبلغ سمك تكوين أفانه في مقطع أقوبان حوالي (8 متراً) ويحده من الأسفل تكوين جركس. وتتألف تتابعات تكوين أفانه من صخور الحجر الجيري الرمادي الفاتح والمارل الرمادي الغامق والجيري المارلي الرمادي المحمر وصخور السجيل.

يبدأ ظهور تكوين أفانه بسمك حوالي (1 متراً) على شكل طبقات هشة ذات لون رمادي غامق من المارل التي تمثل بداية ظهور تكوين أفانه، تليها طبقات متعاقبة من الحجر الجيري المارلي والمارل بسمك (30) سنتيمتراً ذات لون رمادي فاتح. ثم تليها طبقة من المارل الهش ذي لون رصاصي محمر بسمك (80) سنتيمتراً. وتليها طبقة تمتاز بصلادة عالية من الحجر الجيري المارلي بلون رصاصي إلى الرصاصي الفاتح بسمك (40) سنتيمتراً. ثم طبقة من المارل ذات لون رصاصي محمر يبلغ سمكها (10) سنتيمتراً. وأيضاً تليها طبقة من المارل ذات لون رصاصي بسمك (30) سنتيمتراً. ثم تظهر طبقات من الحجر الجيري المارلي الصلبة جداً بلون رصاصي فاتح والحاوية على التركيب الرسوبي المترقق (Lamination) بسمك (20) سنتيمتراً، كما في شكل (2 - e6) . وتلي هذه الطبقات طبقات متتابعة من المارل والحجر الجيري المارلي وأحياناً من صخور السجيل (Shale) (a7-2) ، ذات خاصية مميزة تسمى بـ (Fissility) وهي قابلية الانفصال بسهولة إلى طبقات رقيقة، وتظهر هذه الطبقات المتتابعة بلون رصاصي محمر وبسمك (1) متراً وتحتوي على تراكيب رسوبية مميزة هي التطبق العدسي والهلالي (Lenticular and Flaser Bedding). ثم تتبعها طبقات من الحجر الجيري المارلي الحاوية على تراكيب رسوبية أيضاً من نوع الكسارات الداخلية وبما يعرف بـ (Gipps) بسمك (20) سنتيمتراً، الشكل (2-f6). وتليها طبقات من الحجر الجيري المارلي ذي لون رصاصي فاتح بسمك (30) سنتيمتراً والتي تحتوي على (Lenticular and Flaser Bedding) أيضاً، الشكل (2-d6)، والشكل (2-e6).

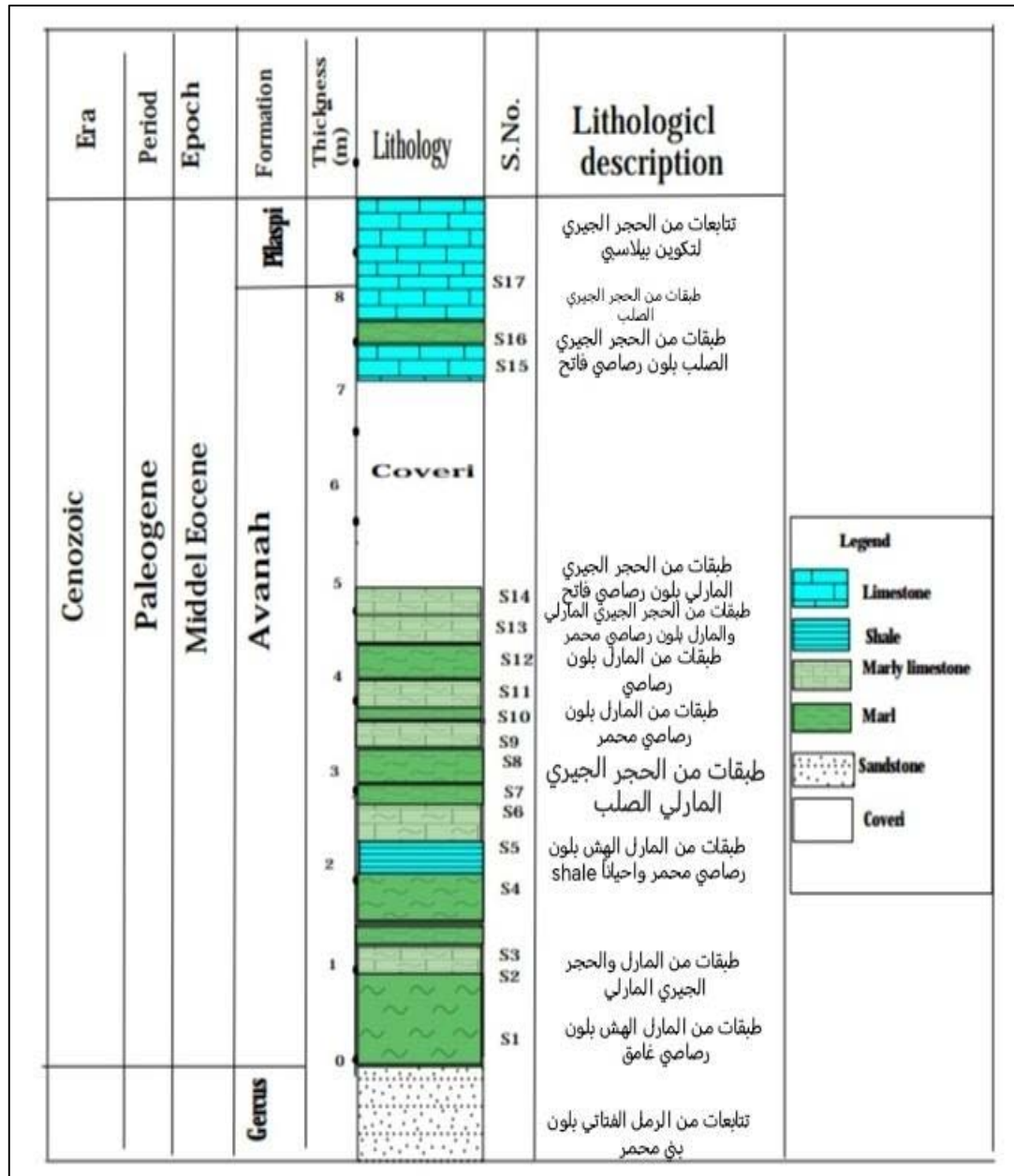
وتليها طبقات غطاء بسمك (2.5) متراً. وأخيراً طبقات بسمك (40) سنتيمتراً من الحجر الجيري الصلب وبلون رصاصي فاتح، وطبقات من المارل المعرضة للتجوية بسمك (20) سنتيمتراً، وطبقات من الحجر الجيري ذي لون رصاصي فاتح وصلابة عالية بسمك (25) سنتيمتراً. وظهور تجاويف كهفية نتيجة عملية الإذابة، كما في الشكل (b7-2). كما نلاحظ تركيب عين الطير في تتابعات هذا التكوين والذي هو عبارة عن تركيب نسيجي يشبه الستروماتوليت ولكن بحجم أصغر عادة (1-3mm) وله أشكال مختلفة كروية، بيضوية، طولانية أو غير منتظمة (Boggs,2006)، كما في الشكل (c7-2).



الشكل (7-2): (a) يوضح صخور السجيل (مقطع اقوبان)، الشكل (b) يوضح الكهوف الناتجة من عملية الإذابة (مقطع اقوبان)، الشكل (c) يوضح تركيب عين الطير (مقطع اقوبان)، الشكل (d) يوضح تركيب الستروماتوليت (مقطع دهوك) abc



الشكل (2-8) يوضح العمود الطباقى لتكوين أفانه فى مقطع كلى دهوك



الشكل (2-9) يوضح العمود الطباقى لتكوين أفانه فى مقطع اقوبان

الفصل الثالث
البتروغرافية والعمليات
التحويرية

**Petrography
and
Diagenesis**

3-1 تمهيد Preface :

إن الدراسة البتروغرافية مهمة جداً في وصف الصخور وتشخيصها، وأيضاً في تحديد العمليات التحويرية المؤثرة على الصخور عن طريق دراسة الشرائح الصخرية بواسطة المجهر المستقطب لتمييز المكونات الحبيبية والأرضية والسمنت، واستنتاج البيئة الترسيبية التي ترسبت فيها الصخور، والظروف التي أثرت عليها عن طريق تحديد السحنات التي تحتويها الصخور.

3-2 البتروغرافية Petrography :

تقسم مكونات الصخور الكربوناتية إلى ثلاثة أقسام أساسية، والتي هي أولاً : الحبيبات (Allochems) وتكون نوعين: الحبيبات الهيكلية (Skeletal Grains) وتشمل هياكل المتحجرات وأصدافها (Fossils) وحطامها (Bioclast) ، والحبيبات غير الهيكلية (Non-Skeletal Grains)، وتتضمن الدمالق (Peloids) و (Ooid) وغيرها، ثانياً: الأرضية وتقسم إلى السمنت (Sparry calcite cement) والحشوة (Matrix)، ثالثاً: الفراغات (Pore) والتي تتضمن المسامية (Porosity) وغيرها (Flugel, 2004).

3-2-1 الحبيبات Allochems :

تعرف الحبيبات على أنها جميع المكونات التي تكون أحجامها أكبر من حجم الطين، ومقارب لحجم الرمل أو أكبر (Flugle, 2004). وتقسم إلى نوعين الحبيبات الهيكلية (Skeletal Grains)، والحبيبات غير الهيكلية (Non-Skeletal Grain)، وتعدّ هذه الحبيبات مهمة جداً إذ تزودنا بتفاصيل ومعلومات عن العمليات الرسوبية مثل طرق النقل إتجاه التيار، درجة الحرارة، العمق، الملوحة وأصل تلك العمليات الرسوبية ومنها البيئة الترسيبية التي ترسبت فيها.

3-1-2-1 : Skeletal Grains الحبيبات الهيكلية

وتتضمن الحبيبات الهيكلية كل أنواع المتحجرات والتي تكون إما بصورة كاملة (Biomorpha)، أو على شكل كسارات مختلفة الأحجام والأشكال (Bioclasts). وبسبب أن هذا التكوين قد تأثر تأثيراً قوياً بعمليات دلمة فإن الكثير من الملامح الأصلية للصخرة قد اختفت وتلاشت معظم معالم الحبيبات الهيكلية. وفيما يأتي أهم المكونات الهيكلية التي تم تشخيصها لمنطقة قيد الدراسة: -

3-1-2-1-1 : Foraminifera الفورامينيفرا

تعد الفورامينيفرا من الحبيبات الهيكلية، إذ تقسم إلى مجموعتين الفورامينيفرا القاعية (Benthonic Foraminifera) والفورامينيفرا الطافية (Planktonic Foraminifera). وتعد أنواع الفورامينيفرا القاعية مهمة جداً في تحديد البيئات الرسوبية، إذ يتواجد كل نوع منها ضمن مدى بيئي معين، إذ تتواجد في البيئات البحرية الضحلة والنيرتية ولاسيما البيئات الغنية بالكربونيت، ذات المناخ الاستوائي وشبه الاستوائي. إن تواجد الفورامينيفرا القاعية بنسب كبيرة ضمن الترسبات تدل على أن البيئة بحرية ضحلة، كما تعطي دليلاً مباشراً على البيئات الدافئة وفقاً لـ (Boudager, 2018). أظهرت نتائج الدراسة الحالية أن المليوليد تنتشر بشكل واسع ضمن طبقات تكوين أفانه وتبعاً للعديد من الدراسات فإن الأصداف الكبيرة للمليوليد تدل على البيئات الكربوناتية البحرية الضحلة، كما تعدّ دليلاً مهماً على عصر الأيوسين حيث أشار التحليل المورفولوجي إلى انتشار واسع للمليوليدات الكبيرة في منطقة البحر الكاريبي ومنطقة المحيطين الهندي والهادي وتمثل هذه المليوليدات عصر الأيوسين (Drobne and Cosovic, 2009) لوحة (1-1). أما الروتاليد فتتواجد أيضاً بكثرة في منطقة الدراسة الحالية ولكن تتواجد بنسب أقل

من الميليوليد، وتتواجد ضمن بيئات أخواض شاطئية ضحلة، ومديات ملحية اعتيادية (Hallock, 2000) لوحة (2-1). فضلاً عن وجود متحجرات الـ (Textularia) والتي تمثل البيئات البحرية الضحلة ذات الظروف شبه المقيدة (Asaad and Balaky, 2018) لوحة (3-1). فضلاً عن تواجد الـ (Alveolinidae) والتي تعد عضواً من رتبة الـ (Miliolida) وهي من المنخربات القاعية الكبيرة الحجم، وتعطي مؤشراً طبقياً حيوياً مهماً عن الكربونات البحرية الضحلة (Boudagher and Price, 2021) لوحة (4-1) في مقطع كلي دهوك. وتنتشر الفورامنيفرا القاعية في الأجزاء السفلى وبعض الأجزاء الوسطى من منطقة الدراسة. إضافة إلى وجود متحجر Orbitolites لوحة (5-1).

3-1-2-2-1-2: الرخويات (Mollusca):

تعد الرخويات ثاني أكبر شعبة من الحيوانات اللاقارية، وتتواجد هذه المتحجرات في منطقة الدراسة الحالية لتكوين أفانه، إذ تم تشخيص متحجرات بطنية القدم (Gastropoda) بنسب كبيرة تلي متحجرات الفورامنيفرا القاعية، وخاصة في الأجزاء الوسطى من تكوين أفانه لوحة (6-1)، وتتواجد هذه الأنواع من الرخويات في المناطق البيئية الضحلة (Scholle and Ulmer-) (Scholle, 2003).

3-1-2-2-3: الطحالب (Algae):

تتواجد الطحالب في كل مكان في معظم تاريخ الأرض المسجل ولكن لبعضها تأثير كبير في العمليات الرسوبية، وتعد الطحالب الجيرية سجلاً للحياة القديمة، ولها دور مهم في تفسير الأساليب الحديثة في علم الرواسب الكربوناتها (Wray, 2009). كما تعد ذات فائدة كبيرة في الدراسات البيئية القديمة، وفي قياس الأعماق القديمة (Kobluk and Kahle, 1978). وقد

سجلت الدراسة وجود الطحالب الخضر المزرقفة في الأجزاء السفلى والعليا لوحة (1-2) لكلا المقطعين، وتمتلك مدى انتشار واسع في البيئات الضحلة.

كما ظهر لنا طبقات تحتوي على التركيب الستروماتوليت (Stromatolite) ولكن بشكل قليل في مقطع كلي دهورك، وتعرف الستروماتوليت على أنها تراكيب عضوية المنشأ تتكون من الرواسب المصاحبة لنشاطات الكائنات الحية الدقيقة، إذ تتفاعل الرواسب مع كاربونات الكالسيوم الموجود في الماء فيتكون الحجر الجيري (Bosak et al., 2013). وحسب (Warren et al., 2016) فإن الستروماتوليت يتشكل على شكل طبقات وهذه الطبقات تكون إما بشكل قبة أو أعمدة جانبية وعمودية متباعدة عن بعضها البعض بسنتمترات قليلة. إن ندرة تكوين تراكيب الستروماتوليت أو قلنتها يشير إلى تطور وانتشار الكائنات المتعددة الخلايا (Metazoans) (Mata and Bottjer, 2012). ومن المعروف أن الأحياء المسؤولة عن تكوين هذه التراكيب هي الطحالب (Alage) أو البكتريا (Cyanobacterial mat)، إذ تتواجد في بيئات مختلفة مثل بيئة الرصيف القاري (Shelf) وبيئة المسطحات المدية (Tidal Flat) وبيئة السبخة (Sabkha) والممالح (Salina) (Browne et al., 2000). وقد أشار العالم (Hoffman, 1976) إلى أن الستروماتوليت المستوي ينتشر في البيئات البين المدية، فضلاً عن أن هذه التراكيب قد تتشكل في البيئات ذات الطاقة الواطئة المتمثلة بالجزء العلوي للبيئة البين مدية والجزء السفلي من البيئة الفوق مدية (Palma et al., 2015). ومن الجدير بالذكر أن التراكيب الستروماتوليت تكون شائعة في البيئة البين المدية والبيئة تحت مدية في الوقت الحالي (Smith et al., 2018).

3-2-1-1-4 حطام الأحياء (Bioclasts)

وهي عبارة عن فتاتات أو كسارات للهياكل العضوية المتكونة نتيجة التيارات والأمواج القوية أو بفعل عملية التعرية الحياتية التي تقوم بتكسير هذه الأصناف. فضلاً عن الانضغاط الناتج من نقل الغطاء الرسوبي على الحبيبات والذي بدوره يؤدي إلى تكسير هذه الأصناف. ويلاحظ أن هذه الفتاتات العضوية يكثر وجودها في الأجزاء السفلى والعليا لكلا المقطعين، وهي على العموم تتواجد بنسب جيدة، وتتمثل غالباً بكسارات الفورامنيبرا القاعية وبطنية القدم لوحة (2-2).

3-2-1-2-2 الحبيبات غير الهيكلية (Non-Skeletal Grains)

وهي عبارة عن حبيبات غير عضوية تمتاز بأحجام وأشكال متباينة. ويقتصر وجودها على الدمالق (peloids) والفتاتات الصخرية (Lithoclasts).

3-2-1-2-1 الدمالق (Peloids):

وهي عبارة عن حبيبات داكنة اللون ذات أشكال دائرية أو بيضوية أو عصوية تتكون من المكرايت ولا تحتوي على تراكيب داخلية. ويتراوح حجمها من الغرين إلى الرمل الناعم (0.1-0.03) ملمتراً وقد يكون بعضها بحجم أكبر (Boggs, 2006). أما الدمالق البرازية (pellets fecal) فهي حبيبات غير هيكلية ناتجة عن الأحياء التي تتغذى على الطين وتكون عادة مدورة وجيدة الفرز (Flugel, 2004). وتتواجد في الأجزاء العليا والسفلى من تكوين أفانه في مقاطع الدراسة، لوحة (2-3).

3-2-1-2-2 الفتاتات الصخرية (Lithoclasts):

تقسم الفتاتات الصخرية إلى داخلية (intraclasts) وفتاتات خارجية (extraclasts). وقد سجلت الدراسة الحالية وجود (intraclasts) ضمن تتابعات تكوين أفانه كما في الصورة أدناه

الشكل (1-3). والتي تعرف على أنها حبيبات معاصرة للترسيب قلعت أو أزيلت من مكانها بفعل التيارات والأمواج وأعيد ترسيبها ضمن نفس الحوض الترسبي (Folk, 1959). وتكون رديئة الفرز وبأحجام كبيرة نسبياً وأشكال شبه مستديرة، وقد سجلت في الأجزاء العليا والسفلى وبعض الأجزاء الوسطى لكلا المقطعين، وقد كانت أحجامها كبيرة وكانت مكونات هذه الفتاتات من نفس مكونات الصخرة الأساسية لوحدة (2-4).



الشكل (1-3) توضح الفتاتات الصخرية الداخلية حقلياً (كلي دهوك)

2-2-3 القاعدة الأرضية (Groundmass)

هي تسمية تطلق على المواد التي تكون بأحجام ناعمة بحجم الطين وتقع بين المكونات المختلفة وتملأ الفراغات بينها كما تعمل على ربط الحبيبات (Folk, 1959). وبالاعتماد على الحجم تصنف إلى: -

3-2-2-1 المكريات (Micrite): -

يعد العالم (Folk, 1959) أول من استخدم هذا المصطلح لوصف الطين الجيري دقيق التبلور في صخور الكربوناتية. وتكون أحجام بلورات المكريات أصغر من (4) مايكرون، ومصطلح المكريات هو اختصار لمفهوم بلورات الكالساييت دقيق التبلور (Microcrystalline Calcite). وقد أشار (Boggs, 2006) إلى أن المكريات يتألف من بلورات الكالساييت أو الراكونايت أو الاثنين معاً. ويتميز بلون داكن وذلك لاحتوائه على المواد العضوية بنسب عالية بالإضافة إلى أكاسيد الحديد وهذا سبب لونه الداكن (بني والبني إلى الأسود). ويدل تواجد المكريات في الترسبات الجيرية على أن الطاقة الترسيبية واطئة، وعدم وجوده يدل على طاقة ترسيبية عالية (Folk, 2004 ; Flugel, 1959). لوحة (2-5).

3-2-2-2 السبار الدقيق (Microspare): -

يتكون السبار الدقيق نتيجة إعادة تبلور للمكريات، وذلك عن طريق إزاحة أيونات المغنيسيوم نتيجة الظروف البحرية المختلطة أو إضافة المياه العذبة للترسبات الكربوناتية أو عن طريق التجوية السطحية (Folk, 1974). ويكون السبار الدقيق عبارة عن بلورات كلسية متقاربة الأحجام حيث يتراوح حجمها ما بين (5-10) مايكرون وقد تكون هذه البلورات كاملة أو ناقصة الأوجه (Folk, 1959). ويتشكل السبار الدقيق بطرق متعددة إما عن طريق إعادة تبلور المكريات أو بطريقة التشكيل الجديد ذي الخطوة الواحدة (One-Step neomorphic)، حيث يتكون عن طريق تحويل الراكونايت إلى الكالساييت ثم السبار الدقيق دون أن يمر بمرحلة المكريات أو قد يتكون بعملية النمو بالتشكيل الجديد (Neomorphic Growth)، فضلاً عن عملية إعادة التبلور

للحبيبات الكربوناتيّة التي تكون بحجم صغير (حجم الغرين). وتكون الغالبية لهذا النوع من الأرضية في صخور التكوين وفي مختلف أجزاء كلا المقطعين، لوحة (2-6).

3-2-2-3 السمّنت السباري (Spary Calcite Cement) :-

هي عبارة عن بلورات كالسائيّة ذات أحجام كبيرة (>10) مايكرون توجد داخل الحبيبات أو الفراغات، كما توجد أيضاً داخل الفجوات والقنوات نتيجة العمليات التحويرية مثل السمّنتة (Flugel, 2004).

3-3 العمليات التحويرية (Diagenses) :-

وتشمل العمليات التحويرية كل العمليات الكيميائية والحياتية والفيزيائية التي تتعرض لها الرواسب وتؤدي إلى تغيير في نسيجها الرسوبي الأصلي وتركيب حبيباتها (Boggs, 2006). وإضافة إلى ذلك فإن للتغيرات في مستوى سطح البحر المرتبطة بالأحداث التكتونية والتغيرات المناخية تأثيراً شديداً على العمليات التحويرية في الصخور الجيرية كما أشار إليها العالم (Blatt, 1982). ومن الجدير بالذكر أن الرواسب الكربوناتيّة أثناء ترسيبها تكون معرضة للعمليات التحويرية التي تؤدي إلى تحطيم نسيجها والذي يشمل الأرضية والحبيبات (Baggs, 2006). كما أن لهذه العمليات دوراً مهماً في زيادة أو نقصان الخصائص البتروفيزيائية (المسامية والنفاذية) والتي تكون ذات أهمية كبيرة في المكامن النفطية والخزانات المائية، حيث تؤدي هذه العمليات إما إلى تحسين هذه الخصائص كما في الصخور الخازنة أو نقصانها أو إتلافها. وهناك عدة عوامل تسيطر على العمليات التحويرية وهي سرعة الدفن ودرجة الحرارة والضغط والفعاليات التكتونية (Reechman and Friedman, 1982). كما أن للعمليات التحويرية تصانيف كثيرة، حيث صنفها كل من (Milliman, 1974; Flugel, 1982) إلى مايتي :-

3-3-1 العمليات التحويرية البنائية (Constructive Diagenesis): -

وتتضمن هذه العمليات قسمين: -

A - العمليات التحويرية المتماثلة كيميائياً (Isochemical): - وهي العمليات التي لا يصاحبها تغير في التركيب الكيميائي أو المعدني، مثل السمنتة والتشكيل الجديد.

B - العمليات التحويرية غير المتماثلة كيميائياً (Allochemical): - وهي العمليات التي يصاحبها تغير في التركيب الكيميائي والمعدني. وتشمل كل من عمليات والدلمة والديلمة والسلكنة وتكوين المعادن موضعية النشأة.

3-3-2 العمليات التحويرية الهدمية (Destructive Diagenesis): -

وتشمل الفعاليات الحياتية والميكانيكية والإذابة الكيماوية. مثل عمليات الانضغاط والمكرتة والتعكرات الحياتية والإذابة. وينتج الهدم الميكانيكي من التيارات القوية المحطمة للمتحجرات أو من الاضطرابات الحياتية أو بسبب الإذابة الكيميائية لكاربونات الكالسيوم. CaCO_3

3-3-1-1 العمليات التحويرية المتماثلة كيميائياً (Isochemical): -

3-3-1-1-1 السمنتة (Cementation): -

السمنتة هي عبارة عن عملية ترسيب كيميائي لكاربونات الكالسيوم من المحاليل المشبعة بها، داخل الحبيبات أو في الفراغات الموجودة بين الحبيبات إذ تترسب بلورات الكالسايت فيه من الجدار الداخلي للفراغ نحو المركز (Bathurst, 1958). وهناك العديد من العوامل التي تؤثر على عملية السمنتة منها، درجة الحرارة، والضغط والدالة الحامضية (PH) ونوع العناصر الذائبة وتركيزها في المحلول وضغط غاز ثنائي أوكسيد الكربون (Bathurst, 1975;) معظم السمنت في الصخور الساحلية (Beach rock) مكون من (Longman, 1980).

الكالسايت وإن السمنتة تكون سريعة عند حد Vadose\ Phreatic وفي المياه القارية (al et Guerra.,2005). واستناداً لـ (Chow et al.,2000) فإن عملية السمنتة تعدّ من العمليات المبكرة التي تتعرض لها الرواسب بعد تراكمها مباشرة حيث تؤدي إلى تصلبها لاحقاً، ولكن قد تكون عملية السمنتة متأخرة، إذ نستدل عليها من وجود مسامات جديدة ناتجة من بعض الإذابة والدلمتة أو نتيجة تعرض الصخور للحركات التكتونية، ففي كلتا الحالتين قد تتكون مسامات وشقوق جديدة إذ تقوم بجمع المحاليل فيها ثم تحصل عملية السمنتة في تلك المسامات والشقوق. وتبعاً لـ (Lucia,2007) فإن عملية السمنتة المبكرة تحتاج إلى جريان مائع لكي تحصل على الكالسيوم والكاربونات، أما السمنتة المتأخرة فلا تحتاج إلى جريان مائع. ومن أهم أنواع السمنت الذي تم تشخيصه في الدراسة الحالية هو: -

A . السمنت البلوكي (Blocky Cement): -

يترسب هذا النوع من السمنت في المراحل المتأخرة من العمليات التحويرية في بيئات الفادوز العذبة والبحرية (Flugel,1982). إذ يتكون من بلورات الكالسايت ناقصة الأوجه إلى كاملة الأوجه، ويترسب في الشقوق الموجودة بالأرضية صخور التكوين، لوحة (3-1).

B . السمنت الحبيبي (Granular Cement): -

يتكون هذا النوع من السمنت من بلورات كالسايتية متساوية الأحجام تقريباً وتكون كاملة الأوجه إلى عديمة الأوجه البلورية (Flugel,2004). ويعدّ هذا النوع من أنواع السمنت المتأخرة النشأة (Flugel,1982;2004). وتبعاً لـ (Scholle and Ulmer-Scholle,2003) فإن هذا النوع من السمنت يترسب في البيئات الفادوزية والفرياتيكية ذات المياه العذبة فضلاً عن البيئات المظمورة. ويعدّ هذا النوع من السمنت الأكثر شيوعاً في ضخور الدراسة الحالية، لوحة (3-2).

C. السمنت النصلي (Bladed Cement): -

يتميز هذا النوع من السمنت ببلوراته الطولانية المتألفة من الكالسيت تشبه النصل ذات محاور عمودية على جدران الفراغ وتترسب في الغالب بالفراغات الموجودة بالأرضية أو العروق، لوحة (3-3).

D. السمنت الدولومايتي (Dolomitic Cement): -

يتألف هذا السمنت من بلورات دولوماتية بأحجام متوسطة إلى خشنة، لها انطفاء متموج وسطوح انفصام وبأوجه كاملة إلى ناقصة الأوجه البلورية وتكون مائلة للكسور والفراغات (Flugel, 2004). ويترسب هذا النوع من السمنت في البيئات المنظمة. ويترسب في درجات حرارة واطئة في بيئات تحت سطحية ضحلة (Mustafa, 2009). لوحة (3-4).

3-1-1-3-2 التشكيل الجديد (Neomorphism): -

تعرف هذه العملية على أنها عملية تغير المعدن من حالة إلى أخرى دون حصول تغيير في التركيب الكيميائي للمعدن الأصلي، لكن يصاحبها تغير بالحجم والشكل والتركيب البلوري، بالإضافة إلى محو أنسجة الترسيب الأصلية أو جزء من تركيبها البلوري (Flugel, 2004). وتبعاً لـ (Boggs, 2006) فإن هذه العملية تحدث في أغلب البيئات التحويرية، وخاصة البيئات التحويرية الجوية وتحت سطحية.

وأشار (Bathrust, 1975) إلى أن هذه العملية تؤدي إلى زيادة في الحجم البلوري أو نقصانه. وتتضمن هذه العملية عمليتي إعادة التبلور (Recrystalization) والانقلاب (Inversion) (Folk, 1965).

3-3-1-1-2 إعادة التبلور (Recrystalization): -

هي عملية زيادة أو نقصان بحجم البلورة دون أن يصاحبها تغيير في التركيب الكيميائي لها، باستثناء بعض التغيرات التي تحدث في نسبة العناصر المشعة والنادرة (Flugel,2010; Bathurst,1975). وتؤثر هذه العملية على بلورات كل من حبيبات الصخرة وحشواتها ويكون هذا التأثير إما بشكل تصاعدي بنائي Aggrading أو بشكل تنازلي هدمي Degrading. وتحدث هذه العملية من المراحل المتأخرة من العمليات التحويرية، ضمن بيئات تحت سطحية (Flugel,2004). وقد سجلت الدراسة الحالية هذه العملية في الأجزاء الوسطى وبعض الأجزاء السفلى من كلا مقطعي منطقة الدراسة، لوحة (3-5)

3-3-1-2 العمليات التحويرية الغير متماثلة كيميائياً (Allochemical): -

3-3-1-2-1 الدلمتة (Dolomitization): -

من العمليات التحويرية المهمة إذ يتم بواسطتها تحويل الحجر الجيري كلياً أو جزئياً عن طريق إحلال أيون المغنسيوم (Mg) محل أيون الكالسيوم (Ca)، وهي من العمليات غير المتماثلة كيميائياً والمعقدة واستناداً لـ (Flugel,2004) فإن عملية الإحلال تحصل مابين مياه الغنية بالمغنيسيوم والصخور الجيرية الحاوية على هذه المياه. ان عملية الدلمتة والديدلمتة التي حل محلها بين الحين والآخر تكون مرتبطة مع تقدم البحر (Transgression) إذ تحدث غالباً عن طريق خلط المياه الجوفية مع المياه البحرية (Peles et al., 2016)، لوحة (4-1) ولوحة (2-4) في كلي دهوك. ويكون هذا الإحلال إما متزامناً مع الترسيب أي يكون متزامناً مع العمليات الترسيبية إذ يحدث خلال العمليات التحويرية المبكرة (Early Dolomitization) ويطلق عليها الدلمتة المتزامنة أو المعاصرة (Penecontemporaneous Dolomitization)، أو يكون غير

متزامن مع الترسيب حيث تحدث بعد تصلب الرواسب أو دفنها ويطلق عليها بالدلمة المتأخرة (Late Dolomitization).

وتؤثر عملية دلمة على خصائص الصخور المكمنية (الخازنة للنفط) وفقاً لـ (Alsinawi et al, 2017). حيث ان الصخور الدولومايت تشكل 50% من المكامن النفطية (Warren, 2000). كما أن عملية دلمة تبدأ بالحبيبات الناعمة (Fine Grain) مثل الحشوة، ويكون تأثيرها قليلاً على كسارات الأحياء (Adabi, 2009). وتعتمد عملية دلمة على عدة عوامل منها درجة الحرارة ووضعية الهيدروليكية والضغط والمحاليل الجارية وكيميائية هذه المحاليل ونفاذية الصخور المضيفة (Nader et al, 2004). وتبعاً لـ (Vasconcelos and Mckenzie, 2009) فان أهم البيئات التي تحدث بها عملية دلمة هي كالآتي: -

- 1- بيئة منطقة الخلط بين المياه البحرية والمياه العذبة، وبيئات تحت مدية ذات ملوحة معتدلة إلى عالية والبيئات التبخرية والبحيرات الشاطئية المعزولة ومناطق السبخة إذ تمتاز هذه البيئات بدرجات ملوحة مختلفة وتكون فوق درجة الاشباع بـ (Mg).
- 2- البيئات القلوية حيث تكون متأثرة ببكتريا الاختزال، مناطق المياه الجوفية القارية الغنية بايونات الكربونات والبيكربونات (Warren, 2000).
- 3- البيئات تحت سطحية (Qing et al, 2001).

أما من ناحية أخرى فإن الدولومايت التحويري يتشكل في قيعان البحار الضحلة وفي المواقع البحرية التي تمتاز بالدفن الضحل، وفي نطاق المزج (Mixing Zone) فضلاً عن مناطق الدفن العميقة (Warren, 2000; Qing et al., 2001).

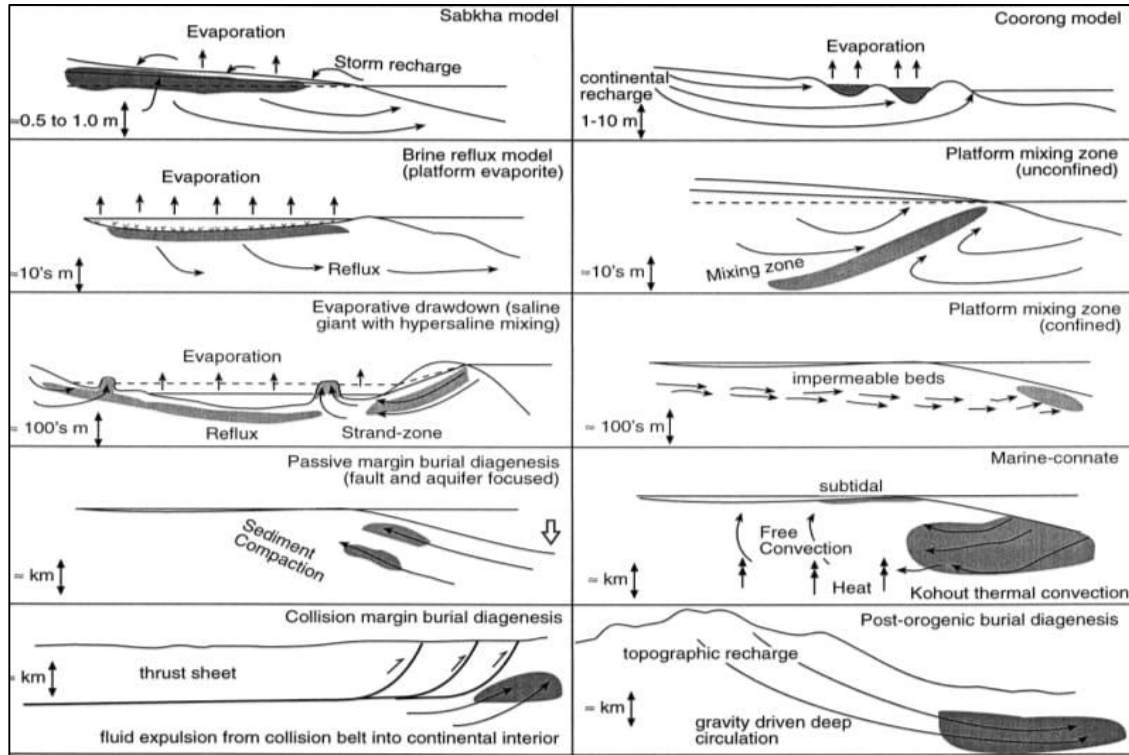
• موديلات الدلمتة (Dolomitization Models): -

هناك العديد من موديلات الدلمتة ويعود ذلك إلى التنوع الكبير بأنسجة الدولومايت إذ لا يوجد عملية واحدة لتفسير عملية الدلمتة، حيث يتكون قسم من لدولومايت بصورة متزامنة مع الترسيب مثل البحيرات المالحة وهذا يكون نادر التكوين، والقسم الآخر يتشكل بالعمليات التحويرية المبكرة أو المتأخرة بعد الترسيب (Flugel, 2010) وفيما يلي أنواع الموديلات لعملية دلمتة حسب (Warren, 2000): -

1. الدلمتة بطريقة الضخ التبخري (Evaporetic pumping Model).
 2. الدلمتة بطريقة الارتداد (Seepage Reflux Model).
 3. الدلمتة بطريقة الطمر (الدفن) (Burial Dolomitization) أو مايسمى موديل الدلمتة تحت سطحية (Subsurface Dolomitization).
 4. الدولومايت العضوي المنشأ في الرواسب البحرية الشبه لحية (Organogenic \ Methanogenic Dolomite in hemipelagic Marine sediment).
 5. الدلمتة الحرمانية (Hydrothermal Dolomitization).
 6. الدلمتة بطريقة الخلط (Mixing Zone).
 7. الدلمتة بمياه البحر (Sea Water Dolomitization).
 8. الوساطة البكتيرية (الجرثومية) Bacterial Mediation.
- وهذه الموديلات موضحة في الشكل (2-3).

موديل الضخ التبخيري (Evaporation pumping Model):

يوضح هذا الموديل عملية الدلمة التي تحدث في الرواسب فوق المدية ضمن المناطق التي تمتاز بالمناخ الجاف، إذ إن عمليات التبخير تعمل على تحرر (Ca) واتحاده مع أيون الكبريتات لترسيب المتبخرات مثل الجيبسم في الفتحات أو الفجوات الموجودة بالصخور، ويؤدي ذلك إلى نقصان نسبة (Ca/Mg) في المياه البينية مما يسبب ذلك بتكوين الدولومايت ضمن الطبقات الجيرية. وتحصل هذه العملية نتيجة التزويد الجانبي للمياه البحرية المالحة إلى المناطق فوق مدية، وأيضاً البحيرات التبخيرية الساحلية والشاطئية التي تتميز بالمياه المالحة (Warren,2000) الشكل (2-3). كما تتطابق صفات هذا الموديل مع ترسبات الأجزاء العليا من مقطع كلي دهوك، إذ تظهر ترسبات الجبس الشائعة، لوحة (3-4) ضمن رواسب البيئات فوق المدية (Supratidal)، والتي تتميز بمعدلات تبخيرية عالية خاصة بالمناطق الجافة (Warren,2000;) (Longman,1980).



الشكل (2-3) يوضح موديلات الدلمة وفقاً لـ (Warren, 2000)

3-3-1-2-2 الديدلمتة (Dedolomitization): -

هي عملية إذلال معدن الكالساييت محل الدولومايت إما بصورة كلية أو جزئية في أغلب الأحيان، وهي من العمليات التحويرية المتأخرة (Braun and Friedman, 1970). وهي من العمليات التحويرية غير المتجانسة كيميائياً، وتكون عكس عملية الدلمتة حيث تحصل عند تفاعل محاليل حاوية على نسبة كبيرة من الكالسيوم مع صخور الدولومايت، وقد وضع العالم (Evamy, 1967) الظروف المناسبة لهذه العملية وهي: -

1. نسبة عالية من Mg/Ca
2. درجة حرارة لا تزيد عن الـ 50 مئوية.
3. الضغط الجزئي لغاز CO_2 يجب أن تكون أقل من (0.5) ضغط جوي.

وقد أشار العالم (Schoenherr et al., 2018) إلى أن عملية الديدلمتة تعني التعرض الجوي للصخور إذ تعمل المياه الجوية على إذابة المتبخرات لتوفير الكالسيوم الزائد. وتشير عملية الديدلمتة إلى تأثر الصخور بالمياه السطحية (Meteoric Water) وأيضاً إلى القرب من المنطقة السطحية (Tucker, 1985). وقد شخّصت هذه العملية في صخور الأجزاء العليا تكوين أفانه في منطقة الدراسة وذلك بشكل المعينات الفارغة لوحة (4-4).

3-3-1-3-3 السلكتة (Silicification): -

تعد هذه العملية من العمليات التحويرية البنائية غير المتماثلة كيميائياً، وتحدث هذه العملية عندما يصل المحلول إلى درجة فوق التشبع بالسليكا عندها تترسب السليكا بشكل سمنت مالى للفراغات أو يحل محل الكربونيت (Flugel, 2004). وهناك أربعة عوامل تسيطر على ترسيب السليكا وهي درجة الحرارة والذالة الحامضية (PH) وتركيز السليكا ونوع معدن السليكا

(Boggs,2006). وقد سجلت الدراسة الحالية هذه العملية بدرجة قليلة وذلك على شكل بلورات سليكاتية ضمن النسيج الكربوناتي لعدد من المواقع في العمود الرسوبي لمقطعي الدراسة، لوحة (3-6).

2-3-3 العمليات التحويرية الهدمية (Destructive Diagenesis)

1-2-3-3 الانضغاط (Compaction): -

وتحدث هذه العملية جراء ثقل الترسبات خلال الدفن أو الانضغاط التكتوني (Vandeginste and John,2013). ويعمل الانضغاط على تشويه وتقليص الحجم الكلي للترسبات، فإما تكون عمليات ميكانيكية تعمل على تراص وإعادة ترتيب الحبيبات، أو عمليات كيميائية تعمل على تقليص الحجم الحبيبي والسمنتة (Flugel,1982). كما تعمل هذه العملية على غلق المسامات في الانضغاط الميكانيكي (Scholle and Ulmer-Scholle,2003). واستناداً لـ (Flugel,2004) فإن عملية الانضغاط الكيميائي تحدث نتيجة استمرار زيادة عملية الانضغاط الميكانيكي، إذ تقوم بإذابة حافات الحبيبية ثم تتكون محاليل الضغط وتتشكل شقوق الإذابة وأسطح الستايولوليت وهذه التراكيب تدل على الانضغاط الكيميائي. وطبقاً لـ (Fabricius and Borre,2007) فإن الستايولوليت يتكون عندما يحدث تماس بين الطين (Clay) والكالسايت (Calcite) وفيما يأتي أنواع الانضغاط: -

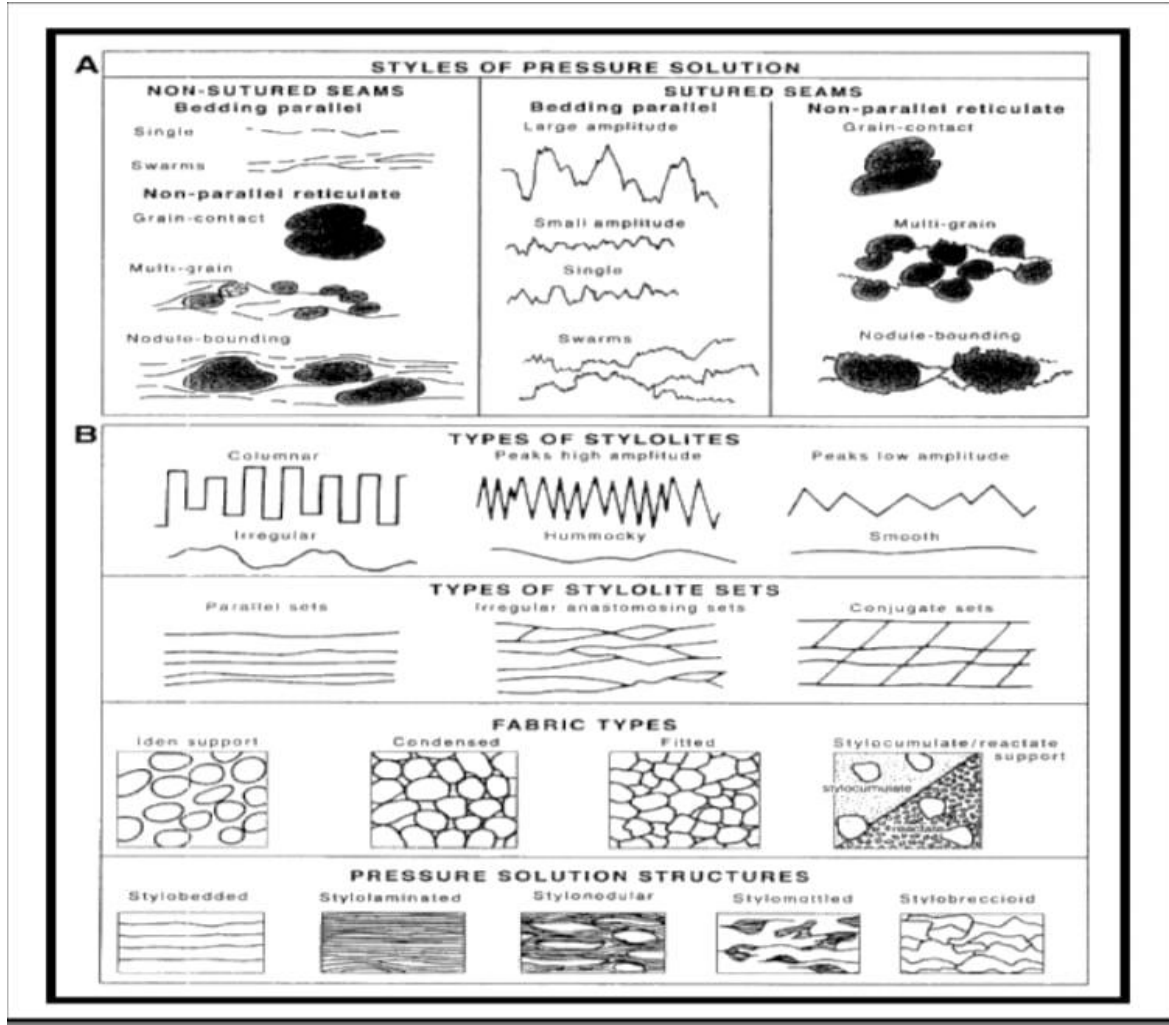
1-1-2-3-3 الانضغاط الفيزيائي (الميكانيكي): Mechanical Compaction -

وهي عملية تشويه وتكسير أو تحطيم الحبيبات وإعادة ترتيبها، ويعتمد هذا التكسير على نوعية المكونات الجبرية. ويؤدي الانضغاط الفيزيائي إلى تقليل سمك الرواسب الكربوناتية إلى النصف مع خسارة المسامية المصاحبة بحدود 50-60% من حجم المسامية الأصلية نتيجة ثقل

الرواسب التي تعلوها (Shinn,1983). وقد سجلت الدراسة الحالية هذه العملية في الأجزاء السفلى والقليل من الأجزاء الوسطى من تكوين قيد الدراسة، لوحة (4-5).

3-3-2-1-2 الانضغاط الكيميائي (Chemical Compaction): -

تتكون هذه العملية عند إذابة المواد عند نقاط التلاحم أو الاتصال بين الحبيبات، نتيجة حمل قوي أو ضغط تكتوني (Bathurst,1971). كما أن عملية تطور الرقائق الستايلولائية تؤدي إلى تدمير المسامية والنفاذية للصخور ولاسيما صخور الدولوماتية (Hassan,2007). وذكر (Boggs,2006) أن ضغط المحاليل يعمل على تداخل الحدود بين الحبيبات وعلى مقياس كبير فيسمى ضغط المحاليل الستايلولائيت، إذ يستدل عليه من المعادن الطينية والمعادن الأخرى غير الكربوناتية وغير الذائبة ذات أحجام دقيقة. ويكون الستايلولائيت شائعاً في الصخور الكربوناتية ويعرف بأنه أسطح غير منتظمة يفترض بأنها ناتجة عن الانحلال الموضعي الذي ينتج بسبب الاجهاد عند الدفن أو الضغط التكتوني (Vandeginste and John,2013). واستناداً لـ (Flugel,2004) فإن من أهم العوامل المسيطرة على الانضغاط هي (عمق الدفن والاجهاد العمودي والتكتوني والضغط الفوقي وضغط الموائع المسامية والدلمة المبكرة وأحجام الحبيبات وطبيعة خصائصها السطحية). وسجلت الدراسة الحالية الستايلولائيت في الأجزاء الوسطى من تكوين أفانه، لوحة (4-6). وهناك أنواع عدة للستايلولائيت كما مبينة في الشكل (3-3).



الشكل (3-3) يوضح أنماط وأنواع الستايولولايت (Flugel, 2004)

3-2-3-3 المكرتة (Micritization): -

هي عملية تآكل قد تكون بصورة تامة أو جزئية لأسطح الهياكل والكسارات الحياتية نتيجة نشاطات الأحياء المجهرية، وتتكون بعد موت هذه الأحياء طبقة ميكراتية رقيقة (Micrite Envelope) محاطة بتلك الأسطح (Flugel, 2004). وقد تتعرض عموم الحبيبة إلى التآكل ولا يظهر فيها أي تركيب داخلي (Bathurst, 1975). وتتلخص عملية المكرتة بميكانيكيتان الأولى هدمية (Destructive) وتحدث عن طريق حفر الأحياء الدقيقة لحافات الحبيبات، ويؤدي ذلك إلى امتلائها بشكل تدريجي بالميكرايت. أما الميكانيكية الثانية فهي بنائية (Constructive)

وتحصل عند تجمع الدقائق الكربوناتية حول حفر أسطح الحبيبية أما داخلها فتتكون خيوط كلسية دقيقة جداً، وتتحوّل بمرور الزمن إلى غلاف ميكرايتي (Bathurst, 1975). وتتواجد هذه العملية في الأجزاء العليا من التكوين، لوحة (1-5).

3-2-3-3 الإذابة (Dissolution): -

وهي عملية إذابة جزئية أو كلية لبعض المكونات الصخرية تاركة وراءها فراغات قد تملأ بالمواد السمنتية لاحقاً ويعود سبب إذابة هذه المكونات إلى تدني قابلية استقرار المعادن المكونة لها وأيضاً مقدار تشبع المياه المحيطة بهذه الحبيبات (Milliman, 1974). وهناك عدة عوامل تؤثر على عملية الإذابة مثل درجة الحرارة المياه المتخللة والضغط الهيدروستاتيكي والدالة الحامضية (PH) ونسبة غاز ثنائي أوكسيد الكربون الذائب في المياه (Flugel, 1982). وتعتبر عملية الإذابة من العمليات المهمة حيث تعمل على تحسين الخواص المكنية للصخور إذ تقوم بزيادة المسامية والنفاذية، كما تكثر وتنشط هذه العملية في النطاق الفادوزي الذي تخترقه المياه الجوية العذبة (Boggs, 2006). وتكون الإذابة شديدة عندما تتكون الترسبات من معادن غير مستقرة (الاراكونايت، الكالسايت عالي المغنيسيوم) ومياه المسامية حامضية (Saller and Vijaya, 2002). وتتركز هذه العملية في الأجزاء العليا وبعض الأجزاء السفلى من كلا مقطعي الدراسة، لوحة (2-5).

• المسامية (Porosity): -

تعرف بأنها النسبة المئوية لحجم المسامات إلى الحجم الكلي لصخرة (Selley, 1976). كما أن للعمليات التحويرية مثل عملية الإذابة والحركات التكتونية التي تسبب الكسور والفراغات تأثيراً مهماً على المسامية إذ تؤدي إلى زيادة المسامية، على عكس العمليات الأخرى مثل السمنتة

والإنضغاط التي تتسبب بتقليل نسبة المسامية في الصخور (Tucker,2001;Mustafa,2009). وقد أثبتت الدراسات أن تتابعات تكوين أفانه الكربوناتية تتصف بالمسامية والنفاذية العالية نسبياً (علي سليمان وآخرون,2014). كما أن هناك علاقة عكسية بين المسامية وعمق الدفن إذ إن المسامية تقل كلما زاد عمق الدفن وعلى العكس تماماً , كلما قل عمق الدفن ازدادت المسامية , وذلك لهروب الموائع الموجودة في المسامات عند زيادة عمق الدفن الذي بدوره يؤدي إلى زيادة ثقل الغطاء الرسوبي ومن ثم يؤدي إلى تراص الحبيبات وتقاربها فيؤدي ذلك إلى تقليل المساميات (Mujtaba et al;2004). ومن الجدير بالذكر أن هناك عوامل تسيطر على المسامية وتتحكم بها وهي المناخ والتغاير النسبي في مستوى البحر ومعدلي الترسيب والتجلس والطبيعة التركيبية للراسب (Longman,1980). وهناك العديد من التصنيفات التي وضعت للمسامية منها تصنيف (Choquette and Pray,1970 Flugel,2004)، كما موضح في الشكل (3-4) حيث قسمت المسامية إلى مجموعتين وهي: -

1- المسامية النسيجية الاختيارية (Fabric Selective Porosity):

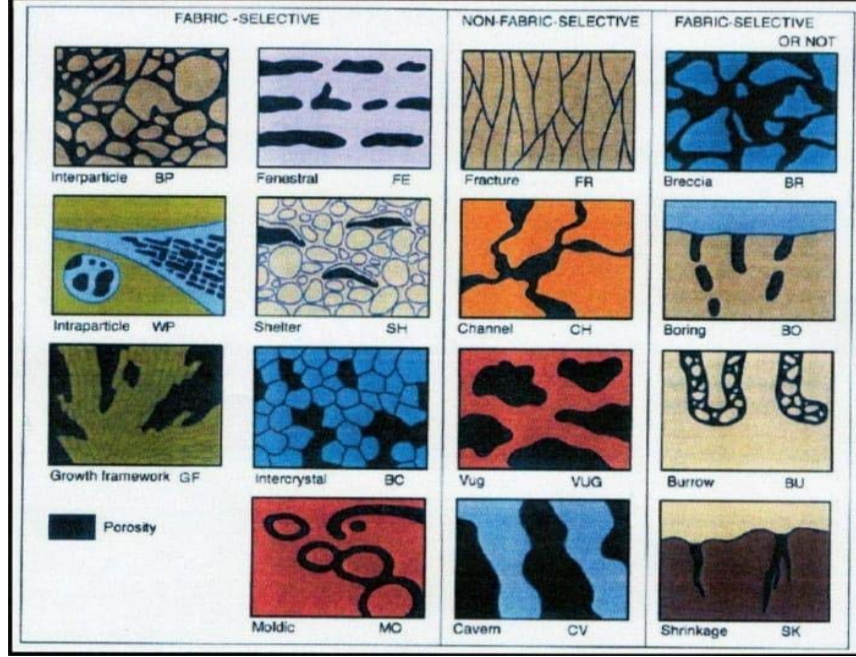
- المسامية ما بين البلورات (Intercrystalline Porosity):

يكون هذا النوع من المسامات مصاحباً لعملية إعادة التبلور والدلمتة ويتواجد هذا النوع من المسامية في الأجزاء الوسطى من مقطع كلي دھوك، لوحة (3-5).

2- المسامية النسيجية اللاختيارية (Non- Fabric Selective Porosity):

- مسامية الفجوات (Vugy Porosity):

ويكون هذا النوع من المسامية بأحجام وأشكال مختلفة غير منتظمة ويعزى هذا الاختلاف إلى التوزيع غير المنتظم لعمليات الإذابة في المراحل التحويرية المبكرة والمتأخرة. وقد شُخص هذا النوع من المسامية في الأجزاء الوسطى من مقطع كلي دھوك، لوحة (4-5).



الشكل (3-4) يوضح أنواع المسامية حسب تصنيف (Choquette and Pray,1970 Flugel,2004)

3-3-2-4 معادن موضعية النشأة (Authigenic Minerals):

وتنتج هذه المعادن من تفاعلات كيميائية، إذ تتشكل من المياه البينية للرواسب في عملية الدفن وتتضمن معادن سليكاتية وغير سليكاتية والمتبخرات (Boggs، 2006). وتكون هذه المعادن ناتجة في البيئات التحويرية، وتعدّ من الأدلة المهمة على حدوث بعض العمليات التحويرية، كما أن معدن البايرايت يترسب مع وفرة المواد العضوية (Strasser,1979). وقد تم تشخيص معدن البايرايت (Pyrite)، ضمن الصخور تكوين أفانه إذ يتكون هذا المعدن من كبريتيد الحديد الذي يمتاز باللون البني الداكن وحسب (Tuker,2003) فإن المعادن الحديدية تتكون نتيجة العمليات التحويرية المبكرة، لوحة (5-5).

3-4 البيئات التحويرية (Diagenetic Environment) :-

تتكون البيئات التحويرية من منطقة بيئية سطحية وتحت سطحية ولكل منها عمليات تحويرية مميزة لها. وتقسّم البيئات التحويرية إلى أربعة أنطقة أساسية، كما في الشكل (3-5) وذلك بالاعتماد على معدل حركة الماء ودرجة تشبعها بكاربونات الكالسيوم (Moore, 2004)، (James and Choquett, 1983). وتشمل هذه الأنطقة ما يأتي: -

1. نطاق البيئة البحرية الفرياتيّة (Marine Phreatic Environment) :-

تتضمن هذه البيئة كل التغيرات التي تحدث بالقرب من سطح التماس بين الرواسب ومياه البحر (السطح الترسيبي). وتعد المياه البحرية المسيطر الرئيس على هذه العمليات حيث تكون إما بتماس مع سطح الرواسب أو داخل المسامات. واستناداً إلى العالم (Longman, 1980) تقسم هذه البيئة إلى نطاقين ثانويين: -

A. النطاق الفرياتي البحري النشط (Active Marine Phreatic Zone) :-

تعتبر عملية السمنتة من أهم العمليات التحويرية ضمن هذا النطاق. وقد تم تمييز أنواع متباينة من السمنت مثل السمنت البلوكي والدلومايتي والحبيبي والدروزي.

B. النطاق الفرياتي البحري الراكد (Stagnant Marine Phreatic Zone) :-

من أهم العمليات التحويرية ضمن هذا النطاق هي عملية المكترّة والتي تحدث بسبب فعاليات الأحياء كحفر الطحالب.

2. البيئة التحويرية الجوية (Meteoric Diagenetic Environment): -

وتتضمن هذه البيئة كل التغييرات التي تحدث على السطح أو بالقرب منه وبشكل أساس تخضع إلى تأثيرات المياه العذبة. وتقسم إلى ثلاثة أنطقة ثانوية تبعاً لـ (Longman, 1980): -

A - نطاق بيئة المياه العذبة الفادوزية (Fresh Water Vadose Environment): -

ويقع هذا النطاق بين سطح الأرض ومستوى المياه الجوفية، وتمتلاً مسامات صخور هذا النطاق بالهواء والماء معاً (Longman, 1980). ومن أهم العمليات التحويرية التي شخّصت في هذه البيئة هي عملية الإذابة وأيضاً السمنت البلوكي والسمنت الدروزي وعملية التشكل الجديد.

B- نطاق بيئة الخلط (Mixing Environment Zone): -

يؤدي المزج بين المياه العذبة والمياه البحرية إلى تشكيل هذا النطاق البيئي. وتكون المحاليل في هذا النطاق مشبعة بأيون المغنيسيوم وغير مشبعة بكاربونات الكالسيوم. ومن العمليات التحويرية المميزة لهذا النطاق هي عملية الدلمطة.

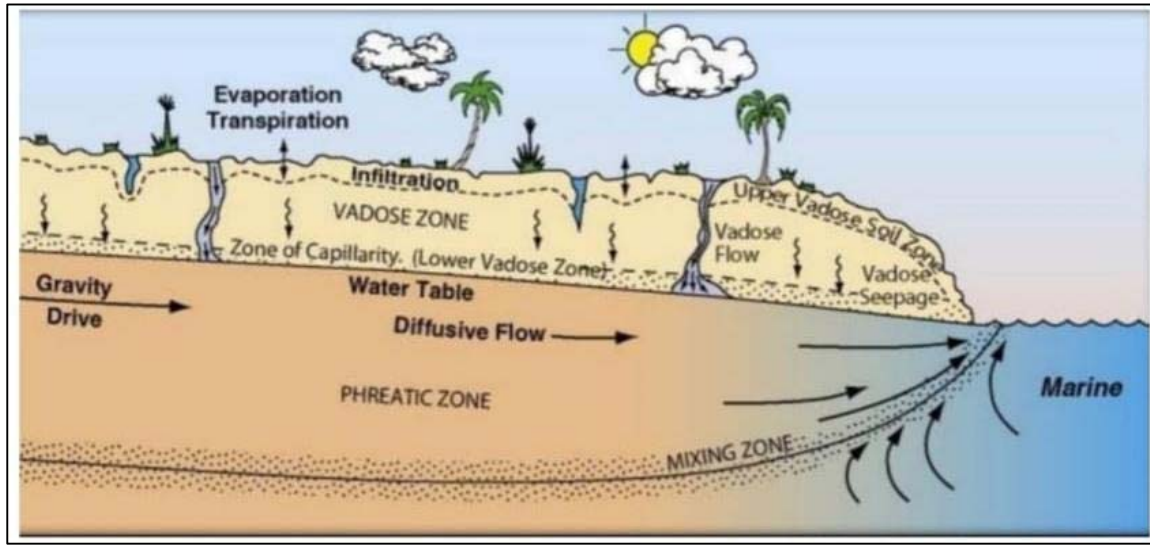
C - نطاق بيئة المياه العذبة الفرياتية (Fresh Water Phreatic Environment): -

وهو النطاق الذي يكون بين نطاقي بيئة المياه العذبة الفادوزية ونطاق بيئة الخلط. وتكون مسامات رواسب هذا النطاق مملوءة بالمياه الجوفية العذبة المشبعة بكاربونات الكالسيوم (Longman, 1980). ومن أهم العمليات التحويرية التي شخّصت في هذه البيئة هي عملية الإذابة وأيضاً السمنتة وعملية التشكل الجديد.

3- البيئة التحويرية المنظومة (Burial Diagenetic Zone): -

وتشمل العمليات التي تحدث تحت منطقة العمليات التحويرية وفوق منطقة التحول الحراري (James and Choquett, 1983). ومن أهم العمليات التحويرية التي شخّصت في هذه البيئة هي عملية الانضغاط بنوعها، الانضغاط الفيزيائي والذي ينتج عن تكسير الحبيبات والانضغاط الكيميائي الذي ينتج عن عروق الستايلولايت.

تشير الدراسة الحالية إلى أن صخور تكوين أفانه خضعت لعمليات تحويرية كثيرة مثل الدلمطة والسمنتة والإذابة والديلمطة والمكرتة والانضغاط والتشكيل الجديد وغيرها، وهذا يدل على تعرض تتابعات التكوين بعد ترسيبها، إلى أغلب البيئات التحويرية التي ذكرت في أعلاه.



الشكل (3-5) يوضح أنواع البيئات التحويرية حسب تصنيف (Moore, 2004)

3-5 المعدنية (Mineralogy):

تمت دراسة معدنية تكوين أفانه بواسطة تحليل (7) عينة بواسطة الأشعة السينية الحائدة (XRD)، وقد بينت النتائج التحليل بالأشعة السينية الحائدة (XRD) لنماذج الصخور الجيرية، أن معدنية

صخور الحجر الجيري لتكوين أفانه في مقطعي الدراسة تتكون بشكل أساسي من معدن (الكالسيت والدلومايت والكوارتز والالبايت والمعادن الطينية)، شكل (3-6)، (3-7)، (3-8).

3-5-1 المعادن غير الطينية Non-Clay Mineral:

تم تشخيص بعض المعادن غير الطينية مثل معدن الكالسيت والدلومايت والكوارتز والالبايت.

1. الدلومايت Dolomite:

شُخص عند أعلى زاوية انعكاس ($d=2.02$) ($2\theta=44.8$) وأقل زاوية انعكاس ($d=2.30$) ($2\theta=30.5$) ($d=2.93$) يتواجد هذا المعدن بصخور التكوين في مقطع كلي دهوك بشكل كبير، ويكون بأشكال بلورية مختلفة، إذ لوحظ بشكل معينات كاملة الأوجه ونافصة الأوجه وعديمة الأوجه، كما يتواجد بأحجام مختلفة. يميل الدلومايت القديم إلى امتلاك تراكيب صفائحية أكثر انتظاماً من الدلومايت الحديث (Chen et al., 2023).

2. الكالسيت Calcite:

شُخص عند أعلى زاوية انعكاس ($d=2.67$) ($2\theta=33.5$) وأقل زاوية انعكاس ($d=3.0$) ($2\theta=29.5$) وهو من المعادن الأساسية المكونة لصخور تكوين أفانه، ويكون أكثر شيوعاً في نماذج صخور منطقة الدراسة بعد معدن الدلومايت، حسب (Brindley and Brown, 1980). ويتواجد هذا المعدن بثلاثة أشكال إما يكون بشكل الحشوة التي تسمى بالمكرايت أو السبار دقيق التبلور والذي يتكون نتيجة عملية إعادة التبلور وتسمى بالسبار الكاذب، أو يتواجد بشكل مادة سمنتية مألئة للفراغات والتي تسمى بالسبار الحقيقي وأيضاً في هياكل الأحياء.

3. كوارتز Quartz:

وقد شخص عند أعلى زاوية انعكاس ($2\theta=26.8$) ($d=3.32$) وعند أقل زاوية انعكاس ($2\theta=20.0$) ($d=4.44$) وهو من أكثر المعادن المقاومة ويمتاز هذا المعدن بمقاومته العالية للعمليات التجوية والتعرية، كما أنه لا يتأثر بدرجات الحرارة العالية (Surdashy and Aqrabi, 2021).

4. الالبات (Albite):

وقد شخص عند أعلى زاوية انعكاس ($2\theta=27.5$) ($d=3.24$) وعند أقل زاوية انعكاس ($2\theta=24.0$) ($d=3.71$)، يتميز البلاجيوكليز عن أنواع الفلدسبار بوجود تحزرات على مستوى الانفصام القاعدي والتي تظهر نتيجة لتوأمة الالبات، ويتواجد في الصخور النارية والمتحولة ونادراً ما يتواجد في الصخور الرسوبية (الصائغ والجبوري, 2002).

ويتواجد كل من معدني الكوارتز والالبات بشكل فضالة معدنية.

3-5-2 المعادن الطينية Clay Mineral:

وهي من المعادن المهمة إذ تعطي تفسيراً بيئياً ودليلاً مهماً على العمليات الكيميائية والفيزيائية التي حدثت بها (Arribas et al., 2003). وتكون ذات مجاميع واسعة، إذ تتكون نتيجة العمليات التجوية التي تتعرض لها المعادن السليكاتية وتعتمد نشأة المعادن الطينية على معدنية صخور الأم ومحاليل التجوية (Tucker, 1985). وتعد هذه المعادن الناتج النهائي للعمليات التجوية القارية كما تعطي دليلاً مهماً على التغيرات التي حدثت في البيئة التي تعرت وترسبت فيها (Al-Juboury et al., 2021).

1. الكاولينايت Kaolinite:

وقد شخص عند زاوية انعكاس ($2\theta = 12.0$) ($d=7.37$) وجود معدن الكاولينايت يدل على بيئة رطبة دافئة استوائية، أو شبه استوائية (Al-Juboury and Al-Hajj, 2018). ويترسب هذا المعدن عن طريق تجوية الصخور النارية الحامضية الغنية بالألمنيوم (Grim, 1968). إذ يتكون معدن الكاولين من رواسب الشواطئ البحرية البرية (المصب المفتوح الذي يهيمن عليه المد والجزر، والمصب الأعمى الذي يهيمن عليه الأمواج، والبحيرات الشاطئية المغلقة)، ويعتبر طين الكاولينايت من الأنواع الصخرية للبيئات القارية القريبة من السطح (Dill, 2016).

2. المونتموريلونايت (Montmorillonite):

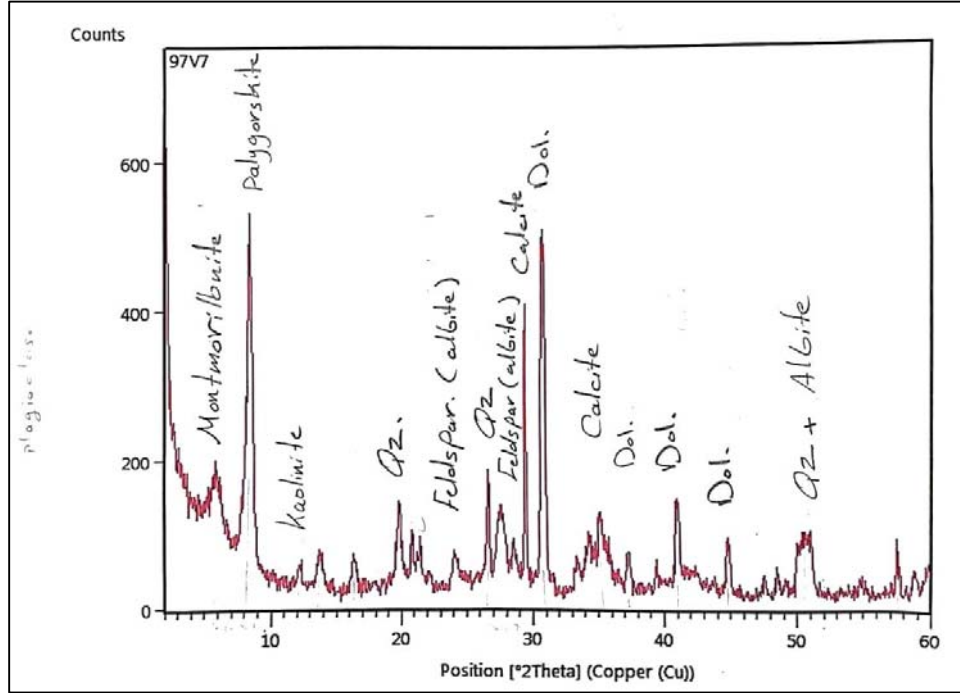
وقد شخص عند زاوية انعكاس ($2\theta = 6.9$) ($d=12.79$) تتكون البلورات المجهرية التي تحتوي على مجموعة معادن سيليكاتية ناعمة من خلال ترسيب محلول الماء، وتسمى المونتموريلونايت (MMT). وتتركز وتتحول عن طريق التجوية الطبيعية في الكهوف البيئية وتترك سيليكات الألومنيوم الموجودة في قاع الصخر. وبإضافة الماء، ينتفخ المونت موريلونيت ويتمدد أكثر بكثير من أنواع الطين الأخرى، (Yaghmaeiyan and Delghavi, 2022).

3. الباليكورسكايت (Palygorskite):

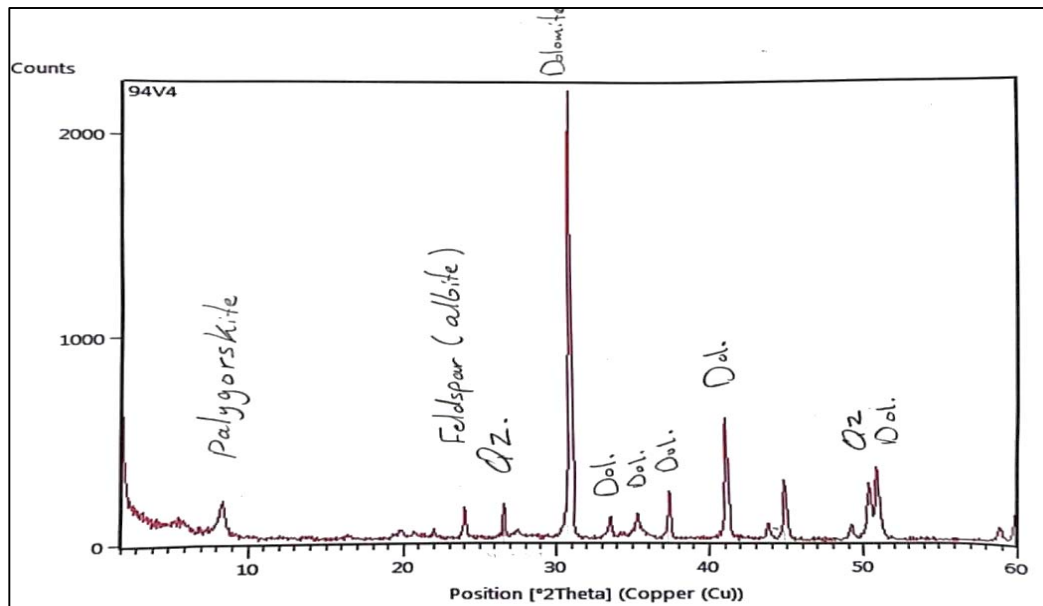
وقد شخص عند زاوية انعكاس ($2\theta = 8.2$) ($d=10.7$) ينشأ هذا المعدن في المناطق الفوق المدية والبحيرات الشاطئية المختلطة في أثناء فترات انخفاض مستوى سطح البحر (Al-Juboury, 2009).

بينت نتائج التحليل المعدني بواسطة الأشعة السينية الحادة (XRD) أن المعادن المكونة للصخور التكوينية هي (الكالسايت والدلومايت والكوارتز والالبايت والمعادن الطينية). وتنشأ هذه

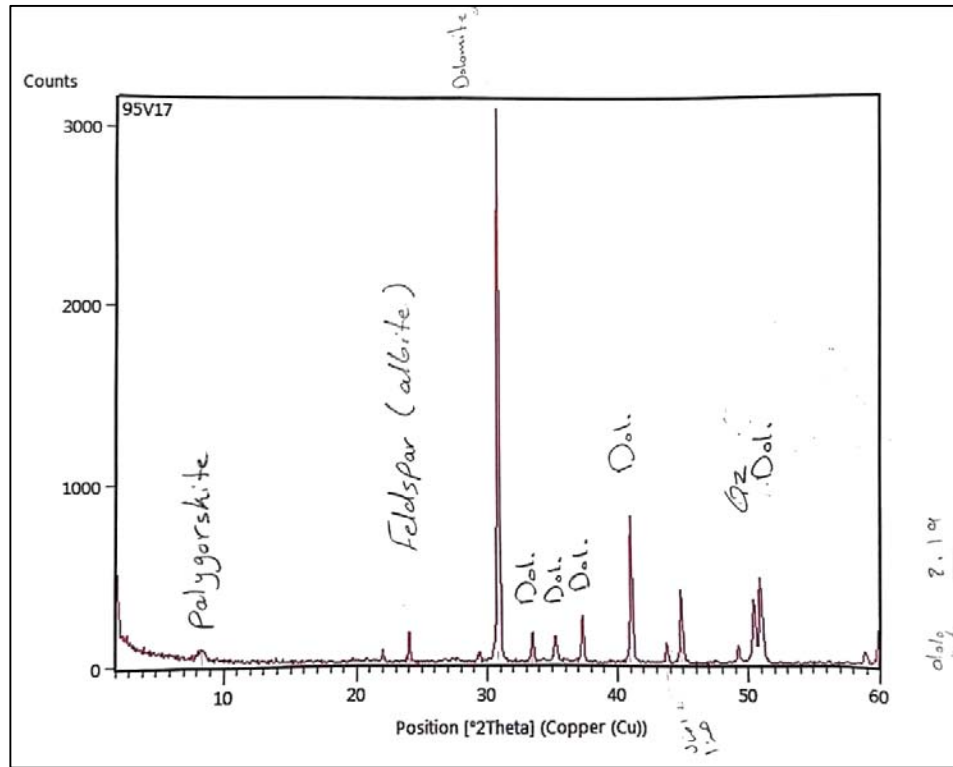
المعادن في البيئات الضحلة. إذ يشير معدن الكاولين إلى أن البيئة الترسيبية التي ترسب بها هذا المعدن هي بيئة رطبة (Al-Juboury and Al-Hajj, 2018). وأما معدن الباليكورسكايت فهو معدن ينشأ في المناطق المدية والبحيرات الشاطئية المختلطة (Al-Juboury, 2009). ونستنتج من ذلك أن البيئة الترسيبية لتكوين أفانه هي بيئة مدية ضحلة.



الشكل (3-6) مخطط حيود الأشعة السينية لنموذج رقم (7) في مقطع أقوبان



الشكل (3-7) مخطط حيود الأشعة السينية لنموذج رقم و(9) في مقطع كلي دهوك



الشكل (8-3) مخطط حيود الأشعة السينية لنموذج رقم (17) في مقطع كلي دهوك



الفصل الرابع

التحليل السحني وبيئة
الترسيب

**Facies Analysis
and**

**Sedimentary
Environment**



4-1 تمهيد Preface:

تعرف السحنات الدقيقة بأنها أجزاء محددة من وحدات طباقية معينة تظهر صفات رسوبية وحياتية تميزها بشكل واضح عن الأجزاء الأخرى (Morre, 2004). وعرف العالم (Miall, 1985) السحنة الرسوبية الدقيقة بأنها أجزاء من وحدات طباقية تمتلك صفات رسوبية وحياتية مميزة ولا تظهر هذه الصفات في غيرها من الوحدات الطباقية. أما (Flugel, 1982) فقد عرفها بأنها جزء صخري يتميز بعدة صفات رسوبية وحياتية، ويمكن تمييز وتشخيص هذه الصفات بصورة واضحة عن طريق دراسة الشرائح الصخرية، كما تعكس هذه السحنات العميات الفيزيائية والكيميائية والحياتية التي تسيطر على هذا الجزء من الحوض الرسوبي. وقد عرف كل من (Friedman and Sanders, 1978) السحنة الدقيقة بأنها أصغر وحدة صخرية مميزة إذ تتميز عن بقية الصخور بصفاتها الصخرية والحياتية ويمكن استنتاج البيئة الرسوبية منها، تعد عملية التحليل السحني من العمليات المهمة التي تساعدنا في استنتاج وتشخيص البيئة الرسوبية، حيث يتم ذلك عن طريق تشخيص الطبيعة الصخرية وأبعادها الهندسية وأيضاً امتداداتها الأفقية والعمودية، كما لها أهمية كبيرة في وصف وتفسير التطور التكتوني للأحواض الرسوبية ومعرفة البيئة الرسوبية وصولاً إلى بناء الموديل الرسوبي، إذ تعدّ البنية الأساسية في تكوين الصورة النهائية لنوع البيئة الترسيبية وظروفها وأيضاً تشخيص العمليات التحويرية ومراحلها (Flugel, 2004). وإن طبيعة الحشوة ونوعية الحبيبات ونسبها وعلاقتها مع بعضها وكيفية تواجدها ضمن الشريحة الصخرية الدقيقة تزودنا بمعلومات ذات فائدة كبيرة في تحديد البيئة الترسيبية الدقيقة.

2-4 السحنات الصخرية (Lithofacies):

سحنات أو صخور ذات صفات فيزيائية وكيميائية وحياتية التي يمكن تمييزها حقلياً. وقد تم تشخيص ستة سحنات صخرية ضمن تكوين أفانه:

1-2-4 السحنة الصخرية الجيرية الحاوية على التطبق المتقاطع نوع عظم السمكة

L1:(Herring Bon Cross-bedding Limestone Lithofacies)

وتظهر هذه السحنة الصخرية في الحجر الجيري على شكل نوع من التطبق المتقاطع ذي اتجاهين ويتكون عادةً بالقناة المدية، عند جريان التيارات باتجاهين متعاكسين إذ تعكس حركات المد والجزر، وقد ثبت أن هذا التركيب الرسوبي يتكون في البيئات البين مدية (Rieneck and Singh,1980). ويظهر هذا التركيب في الأجزاء الوسطى والسفلى من مقطع كلي دھوك، كما في الشكل (2-6 b).

2-2-4 السحنة الصخرية للحجر الجيري المتطبق العدسي

L2:(Flaser and Lenticular Bedding Limestone Lithofacies)

تنتشر هذه السحنة في صخور الحجر الجيري وتتكون هذه التراكيب في المسطحات المدية والتحت مدية وتعتبر من الدلائل المهمة على بيئة المسطحات المدية خصوصاً نطاق البين مدية، ويتشكل (Flaser) عند تداخل الحبيبات الجيرية التي تكون بحجم الطين والرمل حيث يكون شريط من الطين داخل الرمل تكون الغالبية للرمل، أما التطبق العدسي (Lenticular) فتكون الغالبية للأطيان ويكون الرمل بشكل عدسات داخل هذه الأطيان (Boggs,2006; Rieneck and Singh,1980). وتظهر هذه التراكيب في الأجزاء الوسطى وبعض الأجزاء السفلى والعليا من مقطع اقوبان، كما في الشكل (2-6 d) و(2-6 e).

3-2-4 سحنة الحجر الجيري الصخرية الحاوية على التشققات الطينية

L3 - Mudcrack Limestone Lithofacies:

تنتشر هذه السحنة في الأجزاء السفلى والعليا من مقطعي كلي دھوك واقوبان، وتتميز تشققاتها بشكلها المضلع والتي تعطي دليلاً واضحاً على الانكشاف السطحي لطبقات الطين الجيري والتعرض للهواء وبذلك تشير إلى بيئة المسطحات فوق المدية (Demicco and Hardie, 1995)، شكل (2-6 c).

4-2-4 سحنة الحجر الجيري الصخرية لسجيل (L4) Shale Lithofacies:

تتألف هذه السحنة من السجيل الذي يتميز باللون البني الداكن، وبشكل رقائقي سهل الانفصال من نوع (Fissilis) والذي يشير إلى بيئة مختزلة (سامة). وقد تم ملاحظته في الأجزاء الوسطى من مقطع اقوبان، شكل (2-7 a).

5-2-4 سحنة الحجر الجيري الصخرية الحاوية على الترققات

Lamination Limestone Lithofacies (L5):

وتكون بشكل ترققات متوازية تنتج بسبب التغير الحاصل بظروف الترسيب وأيضاً نتيجة التغير الحجمي في الحبيبات بسبب التيارات المتناوبة (Boggs, 2006)، وتظهر هذه التراكيب في الأجزاء الوسطى وبعض الأجزاء السفلى والعليا من مقطع اقوبان، كما في الشكل (2-6 e).

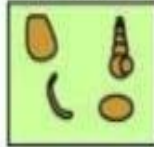
6-2-4 سحنة الحجر الجيري الصخرية الحاوية على الستروماتولايت

Stromatolites Limestone Lithofacies (L6):

تتشكل هذه التراكيب في البيئات ذات الطاقة الواطئة المتمثلة بالبيئة البين مدية والجزء السفلي من البيئة الفوق مدية (Palma et al., 2015). يظهر هذا التركيب في الجزء العلوي والسفلي من مقطع كلي دھوك، كما في الشكل (2-7 d).

3-4 السحنات الدقيقة في تتابعات تكوين أفانه:

بالاعتماد على تصنيف (Dunham,1962) المستخدم في تسمية السحنات الدقيقة والصخرية، كما في الشكل (1-4). فقد تم فرز وتسمية السحنات الدقيقة لكونها تصنيفاً عملياً يتعلق بالنسيج ويعطي مدلولات سحنية وبيئية كما في الشكل (1-4). كما تم بمقارنة هذه السحنات مع السحنات القياسية الدقيقة (Standard Microfacies)، والتي تختصر بـ(SMF)، والتي افترضت من العالم (Wilson,1975) وطورت من العالم (Flugel,1982;2004)، وذلك لاستنتاج الأنطقة السحنية والبيئية لسحنات دقيقة في تكوين أفانه. وفيما يأتي السحنات المشخصة ضمن التكوين قيد الدراسة: -

Original components not bound together at deposition				Original components bound together at deposition. Intergrown skeletal material, lamination contrary to gravity, or cavities floored by sediment, roofed over by organic material but too large to be interstices
Contains mud (particles of clay and fine silt size)		Lacks Mud		
Mud-supported		Grain-supported		
Less than 10% Grains	More than 10% Grains			
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone
				

الشكل (1-4) تصنيف (Dunham,1962) المستخدم في تسمية السحنات الدقيقة والصخرية

4-3-1 سحنة الحجر الجيري الطيني الدقيقة (M) (Lim Mudstone Microfacies):

تتكون هذه السحنة بشكل أساس من الأرضية الميكترائية ونسب قليلة من الحبيبات التي لا تتجاوز (10%) من نسبة مكونات السحنة ككل. كما تمتاز هذه السحنة بلونها الداكن وتترسب هذه السحنة في بيئات ترسيبية تمتاز بهدوء حركة التيارات المائية (Bathrust, 1975). واعتماداً على وفرة أو قلة وجود الحبيبات قسمت هذه السحنة إلى ثلاث سحنات ثانوية: -

4-1-3-4 سحنة الحجر الجيري الطيني الحاوية على فتاتات صخرية الثانوية الدقيقة

Lithoclast Lim Mudstone Submicrofacies (M1):

تنتشر هذه السحنة في الجزء العلوي من مقطعي كلي دھوك واقوبان، وتحتوي هذه السحنة على الأرضية الميكترائية والقطع الصخرية بشكل أساس، لوحة (5-6). كما تتأثر بعمليات السمنتة والمكرتة وإعادة التبلور. وتماثل هذه السحنة الصفات العامة لسحنة (SMF-24)، المترسبة ضمن النطاق السحني (FZ8) المعروفة بالبيئة المحصورة.

4-1-3-2 سحنة الحجر الجيري الدملي الثانوية الدقيقة

Peloidal Lim Mudstone Submicrofacies (M2):

وتنتشر في الجزء العلوي والسفلي من مقطع كلي دھوك، وتحتوي هذه السحنة بشكل أساسي على الأرضية الميكترائية ناعمة والحبيبات غير الهيكلية المتمثلة بالدمالق، لوحة (6-1). وتعد عمليات الدلمتة والسمنتة وإعادة التبلور من أهم العمليات التحويرية المؤثرة في هذه السحنة. وتماثل هذه السحنة الصفات العامة لسحنة (SMF-16)، المترسبة ضمن النطاق السحني (FZ8) المعروفة بالبيئة المحصورة.

3-1-3-4 سحنة الحجر الجيري الطيني الحاوية على المتبخرات الثانوية الدقيقة

Evaporitic Lim Mudstone Submicrofacies (M3):

وتوجد هذه السحنة في الجزء الوسط من مقطع كلي دھوك، تتكون هذه السحنة بشكل أساس من الحجر الطيني الحاوي على بلورات المتبخرات المتمثلة بالجيسوم إذ تتشكل عن طريق تركيز محلول ملحي سطحي أو قريب من السطح بواسطة الطاقة الشمسية (Warren, 2016). كما تحتوي أيضاً على الفتات الصخري، لوحة (3-4). وتتأثر هذه السحنة بعمليات السلكتة والدلمة والسمنتة. وتماثل هذه السحنة الصفات العامة لسحنة (SMF-25)، المترسبة ضمن النطاق السحني (FZ9) المعروفة بنطاق منصة التبخر (Platform-Evaporitic)

2-3-4 سحنة الحجر الجيري الواكي الدقيقة (W) (Lim Wackestone Microfacies):

تتكون هذه السحنة من الأرضية الميكترية والميكترية الدقيقة والحبيبات الهيكلية وغير الهيكلية التي تزيد نسبتها عن (10%) من نسبة مكونات السحنة. وتتمثل هذه الحبيبات بأصداف بطنية القدم والطحالب الخضراء، فضلاً عن بعض الكسارات الأحيائية والقطع الصخرية. وتأثر هذه السحنة بعمليات السمنتة وإعادة التبلور والدلمة وأيضاً الانضغاط. وقد تم تقسيم هذه السحنة الرئيسة إلى ثلاث سحنات دقيقة ثانوية، تبعاً لمحتواها الحبيبي وكما يأتي: -

1-2-3-4 سحنة الحجر الجيري الواكي الحاوية على الفتات الصخري الثانوية الدقيقة

Lithoclast Lim Wackestone Submicrofacies(W1):

وتنتشر في الأجزاء العليا من مقطع كلي دھوك، تحتوي هذه السحنة على الفتات الصخرية بشكل أساسي وتكون من نوع الفتات الصخرية الداخلية إذ تتجاوز نسبة هذه الفتات عن (40%)، لوحة (2-6). وتعد عمليات الدلمة والسمنتة من أهم العمليات التحويرية المؤثرة في هذه السحنة.

وتماثل هذه السحنة الصفات العامة لسحنة (SMF-24)، المترسبة ضمن النطاق السحني (FZ7) المعروفة ببيئة البحر المفتوح القريبة من جهة القارة بعد الحاجز.

2-2-3-4 سحنة الحجر الجيري الواكي الحاوية على الطحالب الثانوية الدقيقة

Algal Lim Wackestone Submicrofacies(W2):

وتوجد في الأجزاء الوسطى من مقطع كلي دهوك واقوبان، تحتوي هذه السحنة على الطحالب الخضر المزرقمة بشكل أساسي إذ تتجاوز نسبة تواجد هذه الطحالب عن (30%)، لوحة (3-6). وتعد عمليات الإذابة والسمنتة من أهم العمليات التحويرية المؤثرة في هذه السحنة. وتماثل هذه السحنة الصفات العامة لسحنة (SMF-10)، المترسبة ضمن النطاق السحني (FZ7) المعروفة ببيئة البحر المفتوح.

3-2-3-4 سحنة الحجر الجيري الواكي الدملي الثانوية الدقيقة

Peloidal Lim Wackestone Submicrofacies(W3):

ويوجد في الجزء العلوي من مقطع كلي دهوك، وتحتوي هذه السحنة بشكل أساسي على الأرضية الميكراتية والحبيبات غير الهيكلية المتمثلة بالدمالق، لوحة (4-6). وتعد عمليات الدلمتة والسمنتة من أهم العمليات التحويرية المؤثرة في هذه السحنة. وتماثل هذه السحنة الصفات العامة لسحنة (SMF-16)، المترسبة ضمن النطاق السحني (FZ8, FZ9) المعروفة بالبيئة المحصورة وبيئة المتبخرات.

3-3-4 سحنة الحجر الجيري المرصوص (Lim Packstone Microfacies):

تتميز هذه السحنة بكثرة الحبيبات المترصصة في وسط أرضية ميكراتية دقيقة التبلور. وتتكون أغلب مكوناتها من حبيبات هيكلية، ولاسيما الفورامنيفرا والتي تزيد نسبتها عن (50%). وقسمت هذه السحنة الدقيقة بالإعتماد على محتواها الحياتي إلى سحنتين ثانويتين:

4-3-3-1 سحنة الحجر الجيري المرصوص الحاوية على الفورامينيفرا القاعية الثانوية الدقيقة

Benthonic Foraminifera Lim Packstone Submicrofacies(P1)

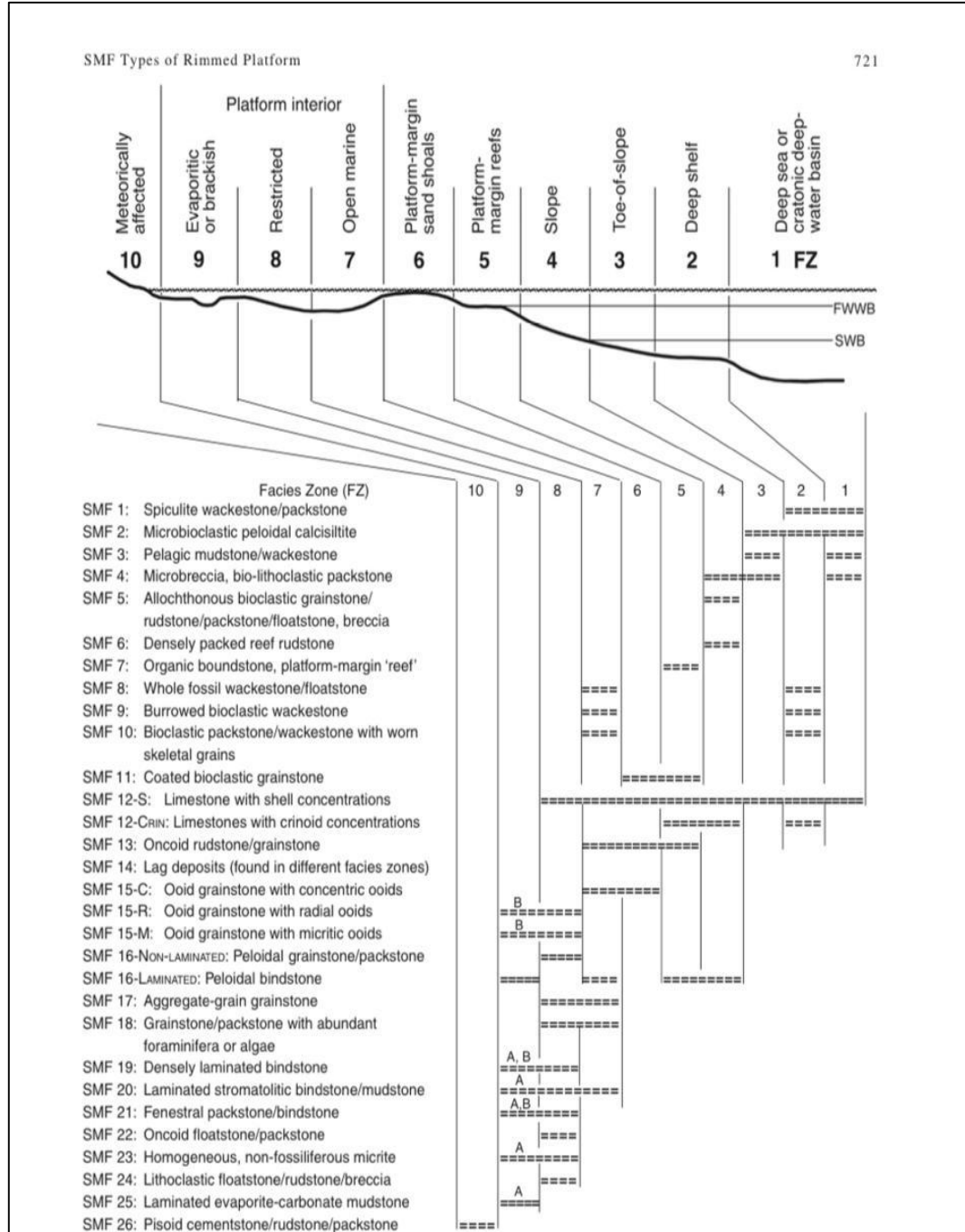
وتوجد في الأجزاء الوسطى من مقطع كلي دھوك واقوبان، تتكون هذه السحنة من الحبيبات الهيكلية المتمثلة بالفورامينيفرا القاعية التي تتراوح نسبتها ما بين (70%-80%) من نسبة مكوناتها ككل وتتضمن المتحجرات المليونيد والروتاليد والألفيولينييد والتكستولاريا، لوحة (5-6). كما تحوي أيضاً الطحالب وبطنية القدم وتظهر هذه السحنة تأثراً بعملية السمنتة وإعادة التبلور فضلاً عن الانضغاط الكيميائي بوجود خطوط الستايلولايت. وتماثل هذه السحنة الصفات العامة للسحنة (SMF-18)، أو (SMF-10) المترسبة ضمن النطاق السحني (FZ-7, FZ-8) المعروف ببيئة البحر المفتوح ضمن المنصة الداخلية.

4-3-3-2 سحنة الحجر الجيري المرصوص الحاوية على المليونيد الثانوية الدقيقة

Miliolidae Lim Packstone Submicrofacies(P2)

وتوجد في الأجزاء الوسطى من مقطع كلي دھوك واقوبان، تتميز هذه السحنة الثانوية عن سابقتها باحتوائها على المليونيد ويكون أكثر شيوعاً من بقية الحبيبات الهيكلية، لوحة (6-6). فضلاً عن تواجد (Textularia, Rotalia) ولكن بنسب ضئيلة مقارنة بلمليونيد، ويدل وجود هذه المتحجرات إلى أن البيئة الترسيبية هي بيئة البحيرات الشاطئية ذات الأعماق الضحلة. إذ تعيش مجموعات من المنحربات القاعية على ارتفاعات مختلفة فوق مستوى المد المتوسط (Edwards and Wright, 2015). كما تتأثر هذه السحنة بعملية السمنتة والاذابة والانضغاط. وتتماثل هذه السحنة الصفات العامة لسحنة (SMF-18)، المترسبة ضمن النطاق السحني (FZ-8) المعروفة بالمنصة البحرية المحصورة.

تبين من نتائج التحليل السحني التي ذكرت سابقاً أن أغلب السحنات مطابقة للصفات العامة لسحنات (Wilson,1975; Flugel, 1982)، ويوضح الشكل (4-2) والأنطقة السحنية التي تقع ضمنها سحنات الدراسة الحالية:



الشكل (4-2) القواطع المضللة تحدد الأنطقة السحنية القياسية التي تقع ضمنها سحنات الدراسة الحالية في موديل (Flugel,2004)

4-4 البيئات الترسيبية:

4-4-1 تمهيد:

تعرف البيئة الترسيبية على أنها كل العوامل الكيميائية والفيزيائية والحياتية التي تتداخل مع بعضها، إذ إن الاختلافات التي تحدث بهذه العوامل هو ما يميز الرواسب ويعطيها خصائص معينة (Boggs, 2006) (Dier and shadam, 2021). ويتطلب استنتاج البيئة الرسوبية معرفة الدلائل الرسوبية والحياتية وربطها مع بعض وصولاً إلى البيئة الترسيبية لتكوين قيد دراسته، ومن ضمن هذه الدلائل التراكيب الرسوبية والمكونات الحبيبية والحياتية وطبيعة توزيعها وأيضاً توزيع السحنات الرسوبية وصولاً إلى الموديل الرسوبي.

وقد بينت نتائج التحليل السحني أن بيئة ترسيب التكوين هي بيئة المسطحات المدية (Tidal Flat) (Paxshan and Sirwan, 2023). إذ تعتبر هذه البيئة بيئة انتقالية بين البيئة البحرية والقارية كما تحتاج هذه البيئة لتتكون إلى منحدر واطئ، وتحتوي على الكثير من الكائنات الحية والتي من أهمها الطحالب الخضراء المزرقمة والنواعم والفورامنفرات القاعية وغيرها من الأحياء التي تعيش في البيئات الضحلة. وتوجد هذه البيئة في مختلف مناطق العالم على طول خط الساحل وحافة اللاكون ومصبات القنوات المدية للبيئة المدية (Ayad and Edris, 2022). وتنقسم هذه البيئة إلى ثلاث مناطق وهي البيئة الفوق مدية، والبين مدية، والتحت مدية وقد تم تشخيص هذه البيئة في تتابعات التكوين، وفيما يلي شرح مفصل لهذه البيئة:

4-4-1-1 البيئة الفوق مدية (Supratidal Environment):

هي البيئة التي تكون الأقرب إلى اليابسة وتمثل الجزء الخارجي من المسطح المدي، وتكون معرضة للهواء في أغلب الوقت وأحياناً تغمر بالمياه لفترات قصيرة خلال المد الربيعي أو خلال

المد العاصفي نتيجة تيارات المد العالية وتأثير تيارات العواصف. وتتمثل هذه البيئة بالسحنات الكربوناتيّة التي تتعرض للانكشاف الهوائي فضلاً عن وجود عملية الدلمتة، حيث تم تشخيص الحجر الجيري الطيني الحاوي على المتبخرات (Evaporitic Lim Mudstone) (M3)، والحجر الجيري الطيني الدملقي (M2)، والحجر الجيري الواكي الحاوي على الطحالب (W2)، والسحنة الصخرية للحجر الجيري الحاوية على التشققات الطينية (L3). وتمتاز هذه السحنة بندرة المتحجرات فيها وذلك بسبب الملوحة والحرارة التي تتكون بها هذه السحنة، لذلك نلاحظ قلة ونُدرة المحتوى الحيّاتي فيها (Boggs, 2006). كما تعد سحنة الحجر الجيري الطيني (M) السحنة المميزة لهذه البيئة (Solak et al., 2016). وشخصت الدراسة وجود الفجوات والكهوف التي تكونت بفعل عملية الإذابة الجبس في السحنات فوق مدية (Lucia, 1972). ومن الأدلة الأخرى على هذه البيئة هو شيوع الطين الكربوناتي الذي لا يحوي على متحجرات والحوي على تركيب عين الطير والذي بدوره يعطي دليلاً على بيئة فوق مدية كما أشار إليها العالم (Illing et al., 1965). وتشير جميع الأدلة المتمثلة بإذابة الجبس والانهايدات والدلمتة والفجوات والكهوف إلى أن هذه البيئة ذات طاقة واطئة (Kavoosi et al., 2009). ومن الجدير بالذكر أن المسطحات فوق مدية يشيع فيها التشققات الطينية التي تتميز بشكلها المضلع والتي تعطي دليلاً واضحاً على الانكشاف السطحي والتعرض للهواء وبذلك تشير إلى بيئة المسطحات المدية (Demicco and Hardie, 1995). وقد تم تشخيص هذه البيئة في الأجزاء العليا وبعض الأجزاء السفلى في كلا المقطعين.

4-4-1-2 البيئة بين المدية (Intertidal Environment):

تتكون هذه البيئة بين المد العالي والمد الواطئ، وتتألف هذه البيئة من السحنة الصخرية لتركيب التطبيق المتقاطع نوع عظم السمكة (Herring Bon Cross-bedding) (L1)، ويعد

هذا التركيب من الأدلة المهمة على بيئة (Intertidal) (Rieneck and Singh, 1980). والسحنة الصخرية لتطبق الفلازر والعديسي (L2)، والسحنة الصخرية الحاوية على الترققات (L5)، والسحنة الدقيقة للحجر الطيني الحاوي على الفتات الصخري (M1)، والحجر الجيري الواكي الحاوي على الطحالب (W2)، والحجر الجيري الواكي الحاوي على الفتات والدملي (W1)، (W3). وهناك ميزات عديدة لرواسب البين مدية منها الإتجاه الثنائي للطبقات المتقاطعة، والتداخلات الرملية الطينية المتقاربة في وحدات ذات البنية الصغيرة (طبقات التطبيق الهلالي و/ أو طبقات العدسية) (De Raaf and Boersma, 2007). وقد اشار العالم (Hoffman, 1976) إلى ان الستروماتوليت المستوي ينتشر في البيئات البين المدية، بالاضافة إلى ان هذه التراكيب قد تتشكل في البيئات ذات الطاقة الواطئة المتمثلة بالجزء العلوي للبيئة البين مدية والجزء السفلي من البيئة الفوق مدية (Palma et al., 2015) (Arkan and Azad, 2022). ومن الجدير بالذكر ان التراكيب الستروماتوليت تكون شائعة في البيئة البين المدية والبيئة تحت مدية في الوقت الحالي (L6) (Smith et al., 2018). وتعد سحنة الحجر الجيري الواكي الحاوي على الفتات الصخري والحجر الجيري الدملي من السحنات المميزة لبيئة البين مدية (Solak, 2016). وبشكل عام تمتاز هذه البيئة بشيوع الدمالق (Peloid) وقلة المتحجرات ووجود كسارات الأحياء (Bioclast)، فضلاً عن عمليات المكترية وتكوين الغلاف المكرايتي الذي يحيط بهذه الكسارات (Mustafa et al., 2020). وتظهر سحنات هذه البيئة في الأجزاء الوسطى والسفلى من مقطع كلي دھوك واقوبان.

4-4-1-3 البيئة تحت المدية (Subtidal Environment):

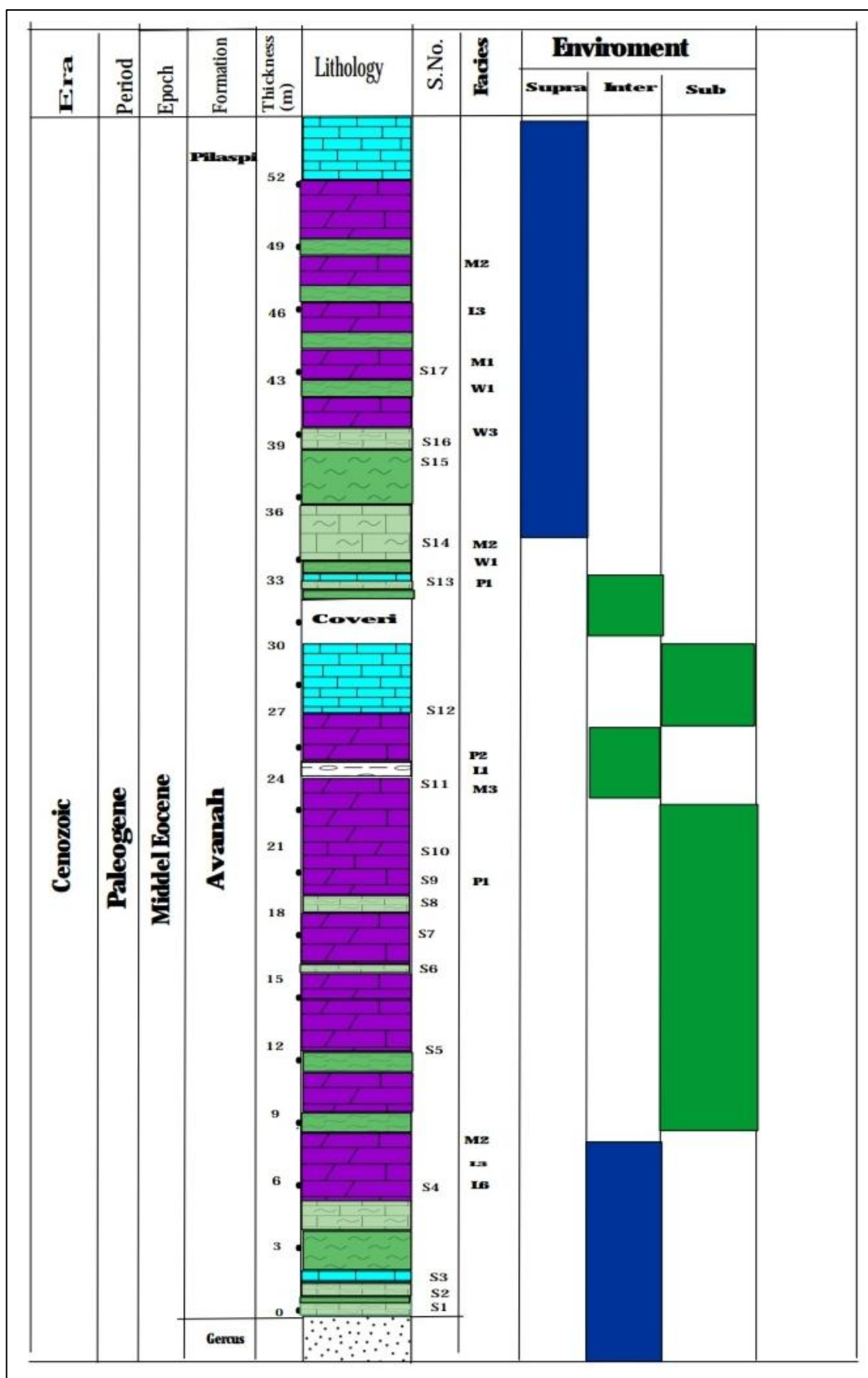
وهي البيئة التي تقع تحت أوطاً مد، وتكون مغطاة بالمياه بشكل دائم ويصل عمقه إلى عدة أمتار (Flugel, 2004). وتتصف ترسبات هذه البيئة بطبقاتها السمكية وبغناها بالمتحجرات

(James,1979). (Danyar and Fouad,2023) وتعد سحنة الحجر الجيري المرصوص الحاوي على الفورامنيفرا القاعية (P1)، والحجر الجيري المرصوص الحاوية على المليونيد (P2)، وأيضاً السحنة الصخرية لسجيل (L4)، والتي تعتبر من السحنات المميزة لهذه البيئة، وقد شخصت سحنات مطابقة لها في جنوب غربي إيران (Dehghanian ,2022). وتمتاز ترسبات البيئة تحت مدية بلونها الداكن بالمقارنة مع البيئات الأخرى ذات اللون الفاتح، ويساعد هذا التغير اللوني في تمييز هذه البيئة عن غيرها، ويعود سبب التغير اللوني إلى انخفاض عملية الأكسدة في هذه البيئة (Kamal and Bashdar , 2023). وتظهر سحنات هذه البيئة في الأجزاء الوسطى والسفلى من مقطع كلي دهوك.

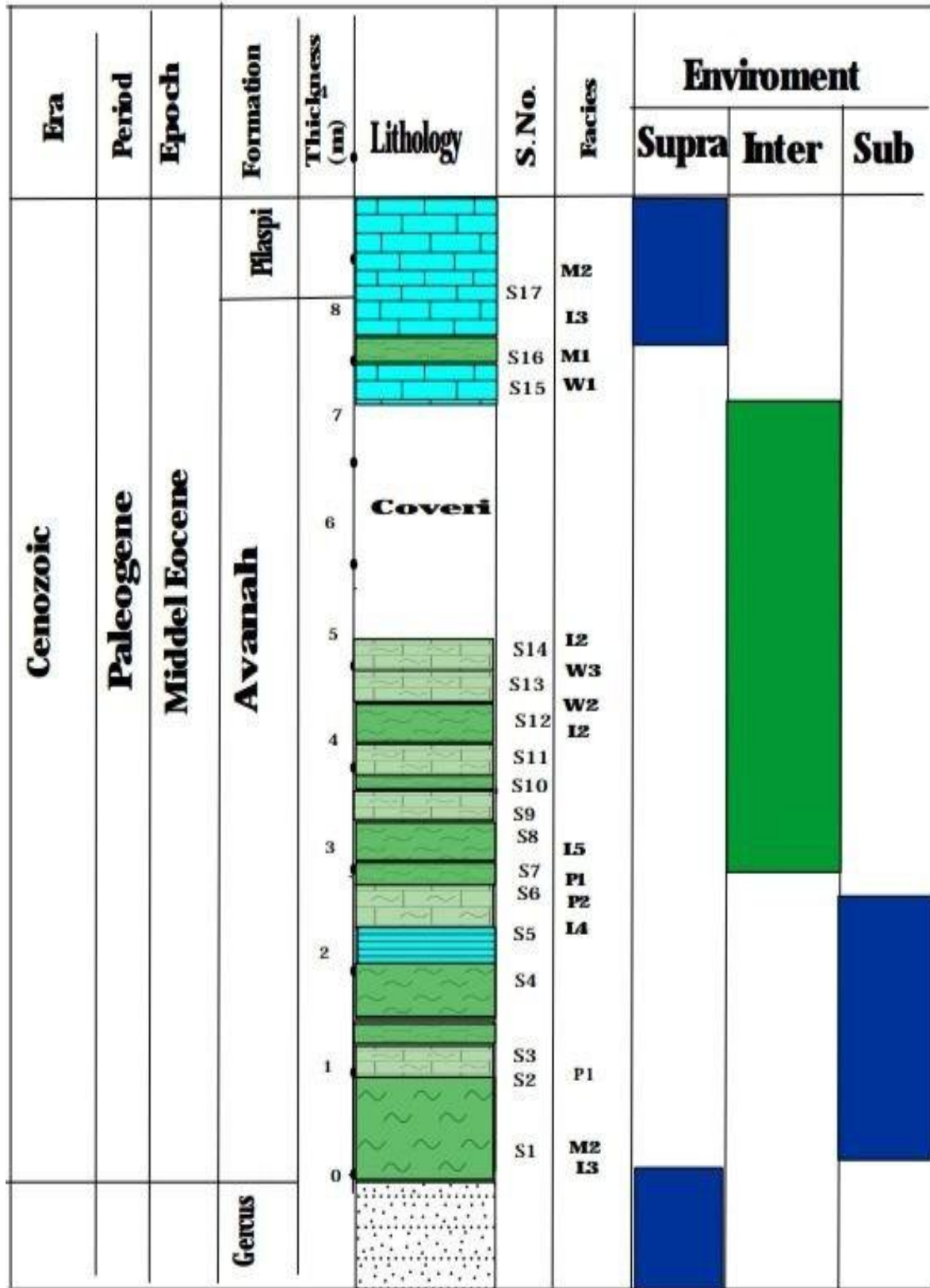
4-4-2 الموديل الرسوبي:

استناداً لـ (Boudagher,2008) فإن المستحاثات الفورامنيفرا القاعية الكبيرة تكون أكثر شيوعاً وانتشاراً في أنطقة المنصة الرصيفية الضحلة في عصر الأيوسين. واستناداً للأدلة الحقلية ودعمًا بالسحنات المجهرية تبين أن التكوين مترسب ببيئة مدية، إذ ظهر بصورة جلية أن التكوين في مقطع كلي دهوك يبدأ بسحنات فوق المدية من خلال سحنة (L 3) مشتركاً مع أعلى البيئة بين المدية ليحدث بعدها تقدم بحري متمثلاً بظهور سحنات تحت المدية وهنا ظهرت تلك السحنات في مقطع اقوبان ومقطع كلي دهوك وبعد ذلك بدء البحر بالتراجع تدريجياً حيث تم تشخيص سحنات البيئة بين المدية في كلا المقطعين ليستمر البحر بالتراجع مسجلاً سحنات بيئة الفوق مدية في اعلى المقطعين كما في الشكل (3-4) (4-4). وبالاعتماد على مجموعتي الارتباطات السحنية التي تم تشخيصها من الدراسة الحالية، تم اقتراح موديل رسوبي بصورة تقريبية لجغرافية الحوض الرسوبي الذي ترسبت به طبقات التكوين في منطقة الدراسة الحالية والذي يمثل جزء من منصة

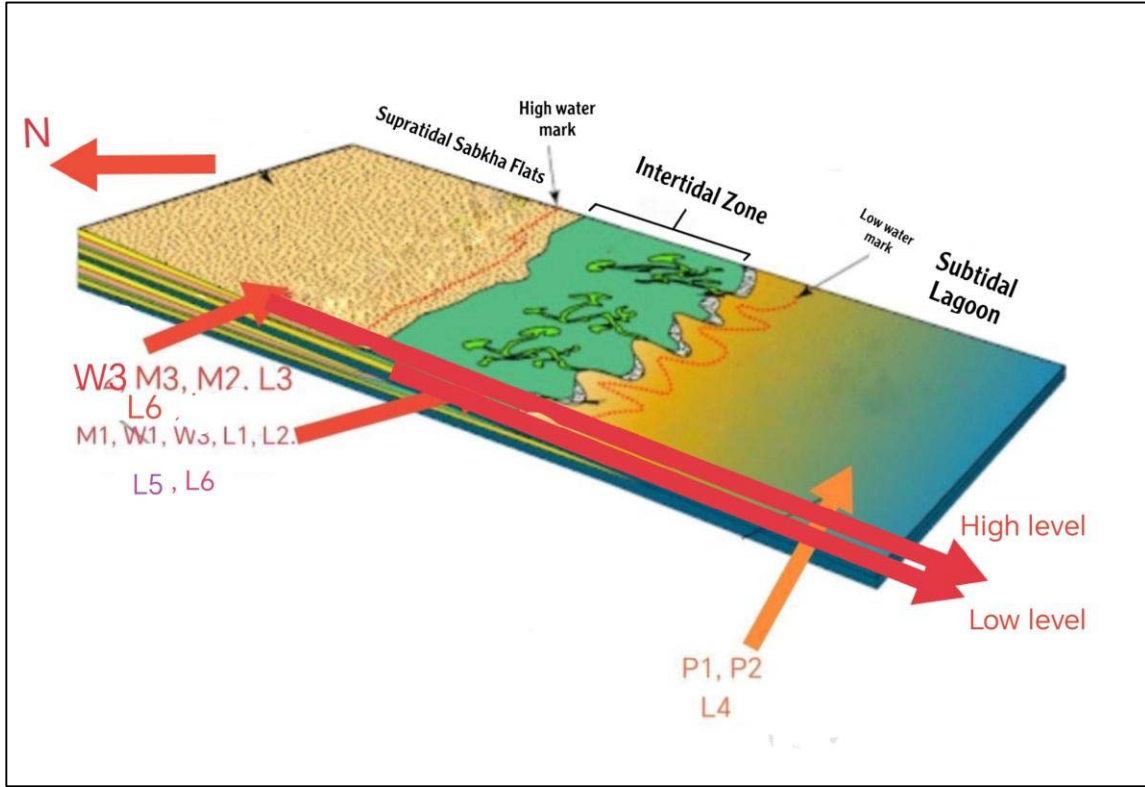
كاربوناتية من نوع (Rimmed Carbonate Platform). تتألف صخور التكوين من (6) سحنات صخرية و(8) سحنات دقيقة ثانوية تعود إجمالاً إلى مجموعتين من الارتباطات البيئية وهما: نطاق المنصة البحرية المحصورة، ونطاق منصة التبخر (Platform-Evaporitic). بالاعتماد على مجموعتي الارتباطات السحنية التي تم تشخيصها من الدراسة الحالية، تم اقتراح موديل رسوبي بصورة تقريبية لجغرافية الحوض الرسوبي في (Middle- Eocene) والميكانيكية التي ترسبت بها تتابعات التكوين في منطقة الدراسة الحالية وكما مبين في الشكل (4-5).



الشكل (3-4) يوضح التوزيع السحني لتكوين أفانه مع السحنات في مقطع كلي دهوك



الشكل (4-4) يوضح التوزيع السحني لتكوين أفانه مع السحنات في مقطع اقوبان



الشكل (4-5) يوضح الموديل الرسوبي لتكوين أفانه في مقاطع الدراسة الحالية



الفصل الخامس

الاستنتاجات والتوصيات

Conclusions and Recommend ations



5-1 الاستنتاجات: Conclusions

لقد توصلت الدراسة الحقلية والبتروغرافية والتحليل السحني والتحليل الجيوكيميائي لصخور تكوين أفانه إلى النتائج والاستنتاجات الآتية:

1- تتكون تتابعات تكوين أفانه في مقطعي الدراسة من الحجر الجيري والحجر الجيري المارلي والدولومايت وصخور السجيل المترققة الحاوية على المواد العضوية بسمك (52) متراً في مقطع كلي دھوك، و(8) أمتار في مقطع اقوبان.

2- إن سطحي التماس لتكوين أفانه هما جركس وبيلاسي في كلا مقطعي الدراسة، حيث يكون سطح التماس السفلي غير متوافق مع تكوين جركس، أما سطح التماس العلوي فيكون متوافقاً مع تكوين بيلاسي.

3- أظهرت الدراسة البتروغرافية للتكوين قيد الدراسة أن الحبيبات الهيكلية، تمثلت بالفورامنيفرا القاعية خصوصاً المليوليد والروتاليد والكبيرة الحجم مثل الفيولينيد، فضلاً عن الطحالب الخضر المزرق (Algae)، والرخويات صنف (Gastropoda) في حين تمثلت الحبيبات غير الهيكلية بالدمالق (Peloids)، والفتاتات الصخرية.

4- يحتوي تكوين أفانه على التراكيب الرسوبية المميزة مثل التشققات الطينية، والتطبق العدسي الفلازر، والتطبق المتقاطع نوع عظم السمكة، بالإضافة إلى الترققات الطينية في الأجزاء المختلفة من مقطعي الدراسة، وأصداف ومتحجرات الفورامنيفرا.

5- من خلال دراسة حيود الأشعة السينية تبين أن أهم المعادن المشكلة لصخور تكوين أفانه هي، الدولومايت واللكالسايت والكوارتز والالبات، والمعادن الطينية ممثلة بالكاولينات والمونتموريلونايت والباليكورسكايت.

6- تأثرت تتابعات تكوين أفانه بمختلف العمليات التحويرية مثل السمنتة والسلكتة والتشكل الجديد والدلمتة والديلمتة وعمليات الإذابة والمسامية والانضغاط الفيزيائي والكيميائي المتمثل بالاستايلولايت. فضلاً عن المعادن موضعية النشأة مثل أكاسيد الحديد ومعدن الباييرايت (Pyrite).

7- أظهرت نتائج التحليل السحني لتتابعات تكوين أفانه، أن التكوين يتألف من ثلاث سحنات رئيسة وهي: سحنة الحجر الجيري الطيني، والحجر الجيري الواكي، والحجر الجيري المرصوص. وقسمت هذه السحنات بالاعتماد على محتواها الحيائي والرسوبي وطبيعة العمليات التحويرية المؤثرة فيها، إلى (ثمانية) سحنات ثانوية دقيقة. وستة سحنات صخرية، وهي السحنة الصخرية للحجر الجيري الحاوي على التطبق المتقاطع الذي يشبه عظم السمكة، والسحنة الصخرية للحجر الجيري الحاوي على التطبق العدسي والفلازر، والسحنة الصخرية للحجر الجيري الحاوي على التشققات الطينية، والسحنة الصخرية للحجر الجيري الحاوي على الصخور السجيل، والسحنة الصخرية للحجر الجيري الحاوية على الترققات، وسحنة الحجر الجيري الصخرية الحاوية على الستروماتولايت.

8- إن جميع سحنات التكوين ترسبت في بيئة المسطحات المدية، حيث تم تشخيص جميع أقسام هذه البيئة وهي: بيئة الفوق مدية وبيئة البين مدية وبيئة التحت مدية.

2-5 التوصيات Recommendation:

- 1- دراسة تفصيلية للحوض الرسوبي لتكوين أفانه وطبيعته التكتونية كونه مختلف السماكات في مكاشفه الصخرية.
- 2- دراسة اثار بعض المتحجرات التي ظهرت خلال الدراسة بطريقة النظائر المشعة لتحديد أعمار ومنشأ تلك الفتاتات العضوية.
- 3- دراسة طباقية وتحديد الحدود العليا والسفلى وعلاقتها مع التكاوين التي تحده كون أغلب الباحثين اختلفوا حول العلاقات الطباقية.



المصادر

References



المصادر العربية

- اسماعيل. نوزت رشاد (2006): دراسة طباقية ورسوبية لتتابعات الأيوسين الاوسط المايوسين المبكر في حوض سنجار شمال غرب العراق، اطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة الموصل، 215 صفحة.
- البازي، نسن تبدي شمعون (2003): دراسة الفورامينيفيرا والأوستراكودا لتحديد الحد الفاصل بين العصر الطباشيري الاعلى العصر الثلاثي الاسفل في مقاطع مختارة من شمال العراق، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة بغداد، 107 صفحة
- خلف، صالح خصر (العكيدي، نسرین مال الله عزيز (1994): اوستراكودا الايوسين الأوسط من شمال العراق. دراسات، المجلد 21 ب، العدد 3، ص 25-37.
- الساكني، جعفر أحمد (1992): الوجيز في الجيولوجيا النفطية للعراق والشرق الأوسط. مطبعة شركة نقط الشمال في كركوك. 180 صفحة.
- السكري، سيروان إسماعيل حسين (1999): طباقية وسحنية التكوينات الجيرية لعمر الباليوجين لمقاطع مختارة في شمال شرق العراق، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة بغداد، 105 صفحة
- شاربازيري، خالد محمود إسماعيل (1983) : دراسة المنخربات والسحنات الدقيقة لصخور افانه الجيرية في منطقة دهوك، رسالة ماجستير غير منشورة ، جامعة الموصل، 103 صفحة.
- الصائغ، عبدالهادي يحيى والجبوري زكي عبدالجبار (٢٠٠٢): مبادئ علم المعادن، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة الموصل. ٩٥٧ صفحة.
- العكيدي، نسرین مال الله عزيز (1990) : اوستراكودا الايوسين الاوسط في منطقة دهوك شمال العراق ، رسالة ماجستير غير منشورة ، جامعة الموصل ، 244 صفحة .
- علي محمد سليمان، محمد، العزيز محمود الحمداني (2014). مسامية تكوين أفانه وتوزيعها الطباقية في آبار مختارة من حقل كركوك النفطي. المجلة العراقية الوطنية لعلوم الارض، 14(1)، 49-66.
- ملك، زيد عبد الوهاب 2011 دراسة رسوبية وطباقية لتتابعات البالوسين – الايوسين في مناطق مختارة من شمال العراق، أطروحة دكتوراه غير منشورة كلية العلوم، جامعة الموصل، العراق، 211 صفحة.

- يحيى، نضال احمد (1995) : دراسة رسوبية لتكوين بيلاسبي في شمال العراق، مجلة علوم الرافدين، المجلد 6 ، العدد 1، صفحة 13-18

المصادر الأجنبية

- Abdullah, M.A., Hassan, F.N. & Saleh, M.A. (2020) Microfacies and Palaeoenvironment of Avanah Formation (Middle Eocene) GeliBessri in Dohuk City / North of Iraq. Tikrit Journal of Pure Science, 25 (1): 85-93
- Adabi, H.M., (2009): Multistage Dolomitization of upper Jurassic Mozduran Formation, Kopet – Dagh Basin, N.E. Iran. Carbonates and Evaporites, Vol.24, No.1, pp. 16-32.
- Al-Banna, N.Y. and Al-Mutwali, M.M. (2005): Microfacies Evidences for Eocene Sequence Stratigraphy of Jaddala/ Avanah Formations, Sinjar area, Northwest Iraq, Raf. Sci. Jour., Vol. 13, No. 3, pp. 88-102.
- Al-Doski, J.A.H. (2004): A New Contribution to the Structural Geology of Dohuk area, Jour. Dohuk University, Vol. 7, No. 2, pp. 1-12.
- Al-Hashimi, H.A.J. and Amer, R.M. (1985): Tertiary Microfacies of Iraq S.O.M. Baghdad, 48p. 159 plates.
- Al-Juboury, A.I., Al-Gharear, J.S. and Al-Rubaii, M.A., (2010): Petrporgraphy and Diagenetic Characteristics of the Upper Oligocene-Lower Miocene Ghar Formation in SE Iraq, Jour. Petro. Geo., Vol. 33, No.1, pp.67-86.
- Al-Juboury, A. I. (2009). Natural pollution by some heavy metals in the Tigris River, Northern Iraq. International Journal of Environmental Research, 3(2), 189-198.
- Al-Juboury, A. I., & Al-Hajj, M. A. (2018): Clay minerals of upper Cretaceous (Shiranish Formation) and lower Tertiary (Kolosh

- Formation) at selected sections from north Iraq. Tikrit Journal of Pure Science, 23(1), 114-122.
- Al-Juboury, A. I., Al-Tae, N. T., & Malak, Z. A. (2021): Paleoenvironmental conditions during deposition of Kolosh and Gercus formations in northern Iraq as deduced from clay mineral distributions. Iraqi Journal of Science, 4791-4801
 - Al-Kaabi, M, Hantoosh, D., Neamah, B., Almohy, H, Bahlee, Z., Mahdi, M., Abdulnaby W.,) (2023. The Structural Analysis of the Oilfields in Zubair Subzone, Southern Iraq. African journal of earth sciences, 197, .pp.104770
 - Al-Nuaimi, S. K. A.,2011): The Sedimentology of Avanah Formation in North of Iraq, Unpubl. Ph. D. Thesis, Baghdad Univ., College of Science, Iraq, 189 p.
 - Al-Omari, F.S. and Sadek, A. (1975); Stratigraphy of Alveolina bearing strata from Dohuk area, Northern Iraq, N. Jb. Geol. Palaont .Mh. Jg. H. 10, pp. 577–585 .
 - Al-Qayim, B., and Ghafor I.M.,2022) . Biostratigraphy and Paleoenvironments of Benthic Foraminifera from Lower Part of the Damlouk Member, Western Desert, Iraq. Iraqi Journal of Science, (IJS), 63 (11), pp. 4799-4817.
 - Al-Sinawi, N., Hollis, C., Arnould, A.D., Schroeder, S. and Redfern, J., (2017): Dolomitization of Jurassic carbonate in the Western High Atlas of Morocco: processes and Implications for Reservoir Properties. AAPG/Sed, international Conference and Exhibition, London, England, October, 15-18..
 - Arkan O. , Azad T. ,)2022(.Paleoecology and Depositional Environment of the Govanda Formation in the Kurdistan region, .northeast of Iraq , Tikrit Journal of Pure Science: Vol. 27 No. 5 pp 11

- Arribas, A., Fariña, R. A. Palmqvist, P., & Gröcke, D. R., (2003): Paleocological reconstruction of a lower Pleistocene large mammal community using biogeochemical (813C, 815N, 818O, Sr: Zn) and ecomorphological approaches. *Paleobiology*, 29(2), 205-229.
- Asaad, I. S., & Balaky, S. M. (2018) Microfacies Analysis and Depositional Environment of Khurmala Formation (Paleocene-Lower Eocene), in the Zenta Village, Aqra District, Kurdistan Region, Iraq. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*, 14(2): 1-15
- Bathurst, R. G. C. (1971): Carbonate Sediments and their Diagenesis. *Developments in Sedimentology* 12, Elsevier, Amsterdam, PP. 620.
- Bathurst, R.G.C., (1958): Diagenetic fabric in some British Dinantian Limestone. *Liverpool Manchester. Geol. Jour.*, Vol. 2, PP.11-36.
- Bathurst, R.G.C., (1975): Carbonate Sediment and Their Diagenesis , *Development in Sedimentology* 12, (2nd eds.) Elsevier Publisher, Amsterdam, 659p.
- Behnam-Dahkordy, M., Crociani, B., & Richards, R. L. (1977) Insertion of Isocyanides into niobium–and tantalum–halogen bonds. *Journal of the Chemical Society, Dalton Transactions*, (20), 2015-2020
- Bellen, R. C. Van, Dunnington, H. V., Wetzel, R. and Morton, D., 1959. *Lexique Stratigraphique Internal Asie. Iraq. Intern. Geol. Conger. Comm. Stratiger*, 3, Fasc. 10a, 333p.
- Blatt, H., (1982): *Sedimentary Petrology*, Freeman, San Francisco, 564p.
- Boggs, J.R., (2006): *Principle of Sedimentology and Stratigraphy*. 4nd Edition ,Person Prentic-Hall, 662p.

- Bosak, T., Knoll, A.H., and Petroff, A.P., (2013): The meaning of stromatolites: Annual Review of Earth and Planetary Sciences, Vol. 41, pp. 21–44.
- Boudagher, M. K., 2008: Evolution and Geological Significance Of Larger Benthic Foraminifera: Developments in Paleontology and Stratigraphy, 21, Elsevier, 540 p.
- Boudagher, M.K., (2018): Evolution and Geological significance of larger Benthic foraminifera. London, UCL press, 667p.
- BouDagher-Fadel, M. K., & Price, G. D. (2021). The geographic, environmental and phylogenetic evolution of the Alveolinoidea from the Cretaceous to the present day. UCL Open Environment, 3.
- Braun, M. and Friedman, G.M., (1970): Dedolomitization fabric in peels: a possible clue to unconformity surface. Jour. Sed. Petrology, V. 40, PP. 417- 419.
- Brindley, G. W., and Brown, G. (1980): Quantitative X-ray mineral analysis of clays. Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification, 5, 411-438
- Browne, K. M., Golubic, S., and Seong-Joo, L., (2000): Shallow marine Microbial carbonate deposits. In Riding, R. and Awramik, M. (Eds), Microbial Sediments, Springer-Verlag, p. 233-249.
- Buday, T. (1980). The regional geology of Iraq: stratigraphy and paleogeography (Vol. 1). State Organization for Minerals, Directorate General for Geological Survey and Mineral Investigations
- Chen, C.; Zhong, H.; Wang, X.; Ning, M.; Wang, X.; Ge, Y.; Wang, H.; Tang, R.; Hou, M. (2023). Thermodynamic And Kinetic Studies of Dolomite Formation: A Review. Minerals, 13, 1479.

- Choquette, P. W., & Pray, L. C. (1970). Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. AAPG bulletin, 54(2), 207-250.
- Chow, N., Morad, S. and Al-Aasem, I.S.,(2000):Origin of Authigenic Mn-Fe Carbonates and pore-water evolution in marine sediments evidences From Cenozoic Strata of the Arctic Ocean and Norwegian-Greenland Sea , Jour. Sed. Res. , Vol. 70, No. 3, pp. 682-699.
- Danyar A. , Fouad M.,)2023(.Reservoir Characterization of the Upper Part of Qamchuqa Formation from Miran and Bazian Oilfields in Kurdistan Region, NE Iraq , Tikrit Journal of Pure Science: Vol. 28 No. 6
- De Raaf, J. F. M., & Boersma, J. R. (2007). Tidal deposits and their sedimentary structures (seven examples from Western Europe). Netherlands Journal of Geosciences/Geologie en Mijnbouw, (Classic Papers).
- Dehghanian, M. (2022). Biostratigraphy of the Asmari Formation in northwest of Shiraz (Tang-e Jalab) on the basis of the large benthic foraminifera. *Advanced Applied Geology*, 12(2), 291-305.
- Demicco, R. V., & Hardie, L. A. (1995). Sedimentary structures and early diagenetic features of shallow marine carbonate deposits. SEPM Society for Sedimentary Geology.
- Dickson, J. A. D. (1966): Carbonate identification and genesis as revealed by .Staining. Journal of Sedimentary Research, 36(2), 491-505
- Ditmar, V. and others, (1971): Geological Conditions and Hydrocarbon Prospects of the Republic of Iraq (Northern and Central Parts). Techneox- Port Report, INOC. Lib., Baghdad, Unpub. Rep.

- Dill, H. G.)2016(. Kaolin: Soil, rock and ore: From the mineral to the magmatic, sedimentary and metamorphic environments. Earth-Science Reviews, 161, 16-129
- Dler H. , Shadan, M. ,)2021(. Reservoir Properties of the Upper Oligocene-Lower Miocene Ibrahim Formation in the Garmian Area, Iraqi Kurdistan Region Tikrit Journal of Pure Science: Vol. 26 No. 6 ,
- Drobne, K., & Čosović, V. (2009). Palaeobiogeography of the Late Cretaceous to Paleogene larger Miliolids from tropical to subtropical sea belts (Neotethys to Caribbean). Bulletin de la Société géologique de France, 180(4), 317-331.
- Dunham, R. J., (1962): Classification of carbonate rocks according to Depositional texture, in: Ham, W.E., (eds.): Classification of Carbonate Rocks, A.A.P.G.Mem.-1, Tulsa, Okla.,pp. 108-121.
- Dunnington, H.V., (1958): Generation, Migration Accumulation and Disposition of Oil in Northern Iraq in; weeks, L.G., (editor) Habitate of Oil a Symposium Amer., Assoc. Petr. Geo.,Spec. Pub., pp. 1194-1251.
- Edris M. Pirot, Ayad N. F. Edilbi,)2022(. Reservoir Characterization of Pila Spi Formation (Middle–Late Eocene) in Shaqlawa and Shekhan areas, Kurdistan Region, Northern Iraq , Tikrit Journal of Pure Science: Vol27. No. 5
- Edwards, R., & Wright, A. (2015). Foraminifera. Handbook of sea-level research, 191-217.
- Evamy, B.D, (1967): Dedolomatization and the development of rhombohedral Pores in limestone. Jour. Sed. Petr., Vol.37, No.4, pp.1204-1215.
- Fabricius, I.L., and Borre, M.K., (2007): Stylolites, porosity, depositional Texture, and silicates in chalk facies sediments. Ontong

- Java Plateau-Gorm and Tyra fields, North Sea: Sedimentology, Vol. 54, pp. 183–205.
- Flugel E. (2010): microfacies of carbonate rocks, Springer, Verlag, Berlin, Heidelberg. 976p.
 - Flugel, E., (1982): Microfacies of Limestone, Christenson, K. Rieneck, H.E. & Singh, I.B. (1980): Depositional Sedimentary Environments, Springer Verlag, New York, 439p.
 - Flugel, E., (2004): Microfacies of Carbonate Rock, Analysis, Interpretation and Application. Springer-Verlag, Berlin, 976p.
 - Folk, R.L., (1959): Partial petrography classification of limestone. AAPG Bull., Vol.43, No.1, pp.1-38.
 - Folk, R.L., (1965): Some aspects of recrystallization in ancient limestone. In: Pray, L. C. and Murray, R. (eds.), Dolomitization and limestone Diagenesis, SEPM, Spe. Publ., N. 13, PP. 14- 48.
 - Folk, R.L., (1974): Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill, Texas, 182p.
 - Friedman, G.M. and Sanders, J.E., (1978): Principles of Sedimentology. John Wiley and Sons, New York. 722 p.
 - Grim, R.E., (1968): Clay Mineralogy, Mc Graw Hill, New York, 569p
 - Guerra, C.N., King, H.G. and Sial, N.A., (2005): Carbonate cement in Contemporaneous beach rock, Jaguaribe beach, Itamaracaisland, Northeastern Brazil: Petrographic, geochemical and isotopic Aspects. Anais da Academia Brasileira de Ciencias, Vol.77, No.2, pp.343-352.
 - Hallock, P. (2000). Symbiont-bearing foraminifera: harbingers of global change?. Micropaleontology, 95-104.
 - Hassan, H.M., (2007): Stylolite effect on geochemistry, porosity and permeability: Comparison between a limestone and a dolomite samples

from Kuff- B Reservoir in Eastern Saudi Arabia, Arabian Jour, Science and Engineering , Vol,32, No,2 A,pp.139-148.

- Henson, R. S. (1951). Observations on the geology and petroleum occurrences in the Middle East. In World Petroleum Congress (pp. .WPC-4009). WPC
- Hoffman, P., (1976): Stromatolite morphogenesis in Shark Bay, Western Australia. In: Walter, M.R. (ed.). Stromatolites. Developments in Sedimentology vol. 20, Elsevier, Amsterdam, pp. 261- 271.
- Illing, L.V., Wells, A.S. and Taylor, J.C.M. (1965): Penecontemporary Dolomite in the Persian (Arabian) Gulf. In: Pray, L.C. and Murray, R.C. (eds.). Dolomitization and limestone diagenesis: a symposium- SEPM Special pub. No.13, pp. 89-111.
- James, N. P. and Choquette, P. W., (1983): Diagenesis Limestones the Seafloor Diagenetic Environment, Department of Earth Sciences, Memorial University, pp. 162-178.
- James, N.P., (1979): Reef and mound: In Walker, R.G. and James, N.P., (eds.) Facies Models, Response to Sea Level Change. Geo.Text1, Geol. Asso. Of Canada,pp.27-47.
- Jassim, S.Z. and Buday, T. (2006): Middle Paleocene-Eocene Megasequence (AP 10), In: Jassim, S.Z. and Goff, J.C. (eds.), Geology of Iraq, Publ. Dolin, Prague and Moravian Museum, Brno, pp. 155-167.
- Kamal H. Karim, Bashdar J. Hamza,)2023(. Relationbetween Walsh and Kolosh Formations and geology of their equivalent metamorphosed greywackes and arenites in Sulaimaniyah Governorate, Kurdistan Region, Northeast Iraq, Tikrit Journal of Pure Science: Vol. 28 No. 6,pp 27
- Karim, K.H. (2006): Stratigraphy of Sartaq-Bamo area, Northeastern Iraq, Jour. Sulaimaniah University, Vol. 5, No. 1, pp. 66-79.

- Kavoosi, M.A., Lasemi, Y., Sherkati, S. and Harami, R.M., (2009): Facies Analysis and depositional sequences of the upper Jurassic Mozduran Formation , Kopep dagh Basin , NE Iran .Jour. of Petroleum, Geol., Vol.32, No.3, pp.235-260.
- Kobluk, D. R., & Kahle, C. F. (1978). Geologic significance of boring and cavity-dwelling marine algae. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 26(3), 362-379.
- Longman, M.W., (1980): Carboante diagenetic textures from upper near Surface diagenetic environment. AAPG. Bull., Vol.64, No.4, pp.461-486.
- Lucia, F.J., (1972): Recognition of evaporate-carbonate Shorline Sedimentation; in: Rigby, J.K. and Hamblin, W.K., (eds): recognition of Ancient sedimentary environment, Special Publication, No. 16, Soci. Econ. Paleon. Minera, pp.160-191.
- Lucia, F.J., (2007): Carbonate Reservoir Characterization An Integrated Approach, Second Edition. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, 336p.
- Mata, S.A., and Bottjer, D.J., (2012): Microbes and mass extinctions paleoenvironment distribution of microbialites during times of biotic crisis. *Geobiology*, Vol.10, pp.3-24.
- Miall, A.D. (1985): Principle of Sedimentary Basin Analysis, Springer &Verlag, Berlin, 490p.
- Milliman, J.D., (1974): Marine Carbonates, Springer-Verlag, Berlin, 375p.
- Moore, C. H. (2004) Carbonate reservoirs porosity evolution and Diagenesis in a sequence stratigraphic framework. Elsevier, Amsterdam. 444 P.

- Mujtaba, M., Noor, I. and Ali, S., (2004): Depositional environment , Diagenetic alteration and porosity development in the Early Eocene Carbonate, Encountered in Adhi-7 Well, Potwer, and Pakistan. Pakistan Jour., of Hydrocarbon Research, Vol. 14, pp. 19-33.
- .Mustafa A. , Faris N. , Abdulsalam M (2020) .Microfacies and Palaeoenvironment of Avanah Formation (Middle Eocene) Geli Bessri in Dohuk City / North of Iraq , Tikrit Journal of Pure Science: Vol. 25 No. 1
- Mustafa, K., (2009): Geochemical and microfacies analysis of some Liassic Formation in selected Sections, Kurdistan, Northern Iraq. M.Sc. University of Bergen, Norway, 106 p.
- Nader, F.H., Swennen, R. and Ellam, R., (2004): Reflux strata bound Dolostone and hydrothermal volcanism-associated dolostone, a two-Stage dolomitization model (Jurassic, Lebanon). Sedimentology, Vol.51, pp.339-360.
- Numan, N.M.S., (2001): Cretaceous and Tertiary Apline Subjuctional History in Northern Iraq, Iraqi Jour. Of Earth Sci., Vol.1, no. 2, pp.54-74
- Palma, R.M., Kietzmann, D.A., Comerio, M., Chivelete, M.C., Gomez, J.L., Bressan, G.S., (2015): Oxfordian microbial laminites from La Manga Formation , Neuquen Basin , Argentina: Remarkable nanobacteria Preservation. Jour. of Iberian , Geol. , Vol.41, no.3, pp.351-363.
- Paxshan M. and, Sirwan I. , 2023 Microfacies Analysis and Depositional Environment of the Middle Eocene Avanah Formation in Haibat Sultan Area, Iraqi Kurdistan Region Tikrit Journal of Pure Science, Vol. 28 No. 3

- Peles, G., Bucur, I.I. and Sasaran, E., (2016): Depositional Environment, Facies and Diagenesis of the upper Jurassic – Lower Cretaceous Carbonate deposits of the Buila-vanturqrita Massif, Southern Carpathians (Romania). *Annals Societatis Poloniae*, Vol. 86, pp. 165-183.
- Qing, H., Bosence, D.W.J., and Rose, E.P.F., (2001): Dolomitization Hypersalin sea water in Early Jurassic peritidal platform carbonate, Gibraltar , Westren Mediteranean , *Sed.*, Vol.48,pp.153-163.
- Reeckman, A. and Friedman, G. M. (1982): Exploration for Carbonate Petroleum Reservoirs, *Elf-Equitatine Centers de Recherche de Boussenset et de pau*, John Wiely and Sons. New York.
- Rieneck, H.E. & Singh, I.B. (1980): Depositional Sedimentary Environments, Springer Verlag, New York, 439p.
- Ritchie, A. M. (1957). Recognition and identification of landslides . Washington. Department of Highways
- Saller, A.H. and Vijiaya, S., (2002): Depositional and diagenitic history of the Kerendoan Carbonate Platform, Oligocene, Central Kalimantan, In donesia, *Jour.Petroleum Geo.* Vol.25, No.2, pp.123-150.
- Schoenherr, J., Reuning, L., Hallenberger, M., Lüders, V., Lemmens, L., Biehl, B. C., ... & Strohmenger, C. J. (2018). Dedolomitization: review and case study of uncommon mesogenetic formation conditions. *Earth-Science Reviews*, 185, 780-805
- Scholle, P.A. and Ulmer-Scholle, D.S., (2003): A Color Guide to The Petrography of Carbonate Rocks: Grains, Texture, Porosity, Diagenesis. AAPG Memoir – 77, Tulsa, Oklahoma, USA, 474p.
- Selley, R. C. (1976). The habitat of North Sea oil. *Proceedings of the .Geologists' Association*, 87(4), 359-387

- Shinn, E.A., (1983): Tidal Flat Environment: In Scholl, P.A., Bebout, D.G. and Moore, C.H. (eds.), Carbonate Depositional Environments. AAPG. Bull., Memoir No.33, pp.171-210.
- Smith, A., Cooper A., Misra,s., Bharuth,V., Guastell,L. and Botes,R., (2018): The extant shore platform stromatolites (SPS) Facies association : a glimpse into the Archean. Biogeosciences, Vol.15, pp. 2189-2203
- Solak, C., Tash, K., Koc, H., (2016): Early Cretaceous shallow – water Platform carbonates of the Bolker Mountains , Central Taurides – south Turkey : facies Analysis and depositional environments . Earth and Environmental Science, Vol.44, PP.1-5.
- Strasser, A. (1979): Betlis-kalk und Diphoyides-Kalk (Valanginian) in der Zentral-Und Ost-Schweiz. Mitt. Geol. Inst. ETH University. Zurich, A.F. 225, 209 p.
- Surdasy, A. A., & Aqrawi, A. M. (2021): Assessment of Clay Deposits Quality from East of Erbil, Kurdistan Region, Iraq for some Ceramic Industries. The Iraqi Geological Journal, 145-161.
- Tucker M.E. (1985): Sedimentary Petrology – An Introduction, v.3, Black Well Scientific Publications, reprinted in G.B. – UK, 252p.
- Tucker, M. E., (2001): Sedimentary petrology: an introduction to the origin of Sedimentary rocks (3rd edition). Blackwell Science, Oxford and Northampton: 262 p.
- Tucker, M.E., (1981): Sedimentary Petrology, An Introduction, Vol.3, Black Well. Scientific Publ. Oxford, 252p.
- Tucker, M.E., (2003): Sedimentary Rocks in the Field, Wiley, England, 234p.

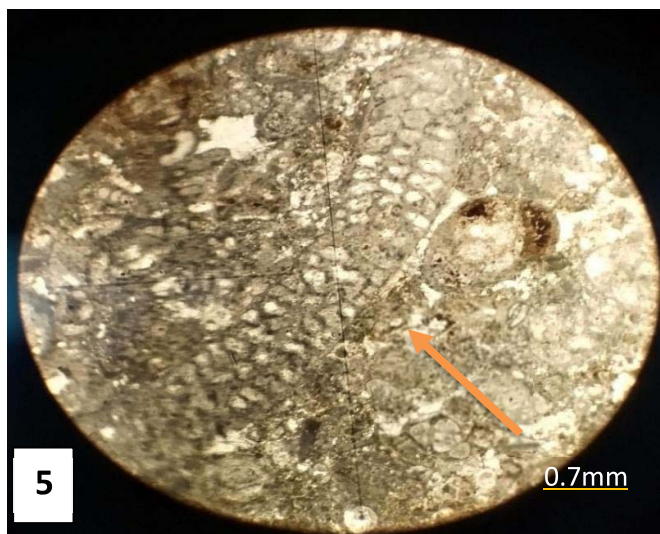
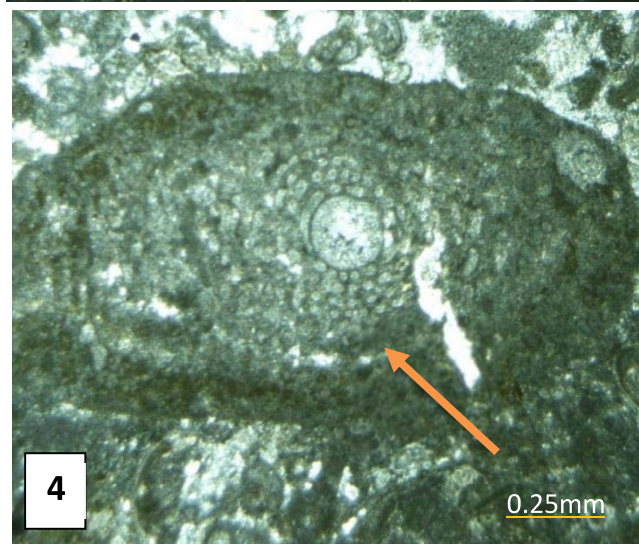
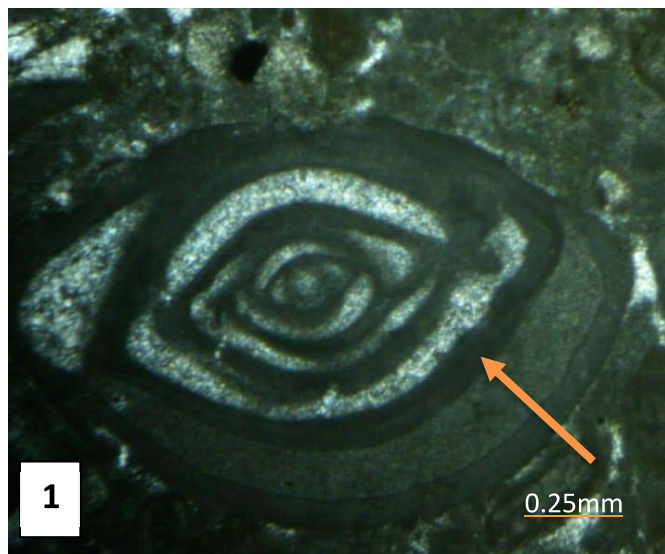
- Vandeginste V. and John, C. M., (2013): Diagenetic Implications of Stylolitization in Pelagic Carbonates, Canterbury Basin, Offshore New Zealand, Jour. Of Sed. Research, V. 83, PP. 226- 240.
- Vasconcelos, C. And McKenzie, J.A., (2009): Microbial mediation of modern Dolomite precipitation and diagenesis under anoxic conditions (Lagoa Vermelha, Rio de Janeiro, Brazil). Jour. Sed. Research, V. 67, PP. 379- 390.
- Warren, J. K. (2016). Evaporites: A geological compendium. Springer.
- Warren, J., (2000): Dolomite Occurrence, evolution, and economically Important association, Earth Science Reviews, Vol. 52, pp. 1-81.
- Warren, L.V., Varejao, F.G., Quaglio, F., Simoes, M.G., Fursich, F.T., Poire, D.G., Catto, B., Assine, M.L., (2016): Stromatolites from the Aptian crato Formation, a hypersaline lake system in the Araripe Basin, Northeastern Brazil. Facies, Vol.63, No.3, pp. 1-19.
- Wilson, J.L. (1975): Carbonate Facies in Geologic History. Springer-Verlag, Berlin. 471 p.
- Wray, J. L. (2009). Calcareous algae. Elsevier.
- Yaghmaeiyan, N., Mirzaei, M., & Delghavi, R (2022) Montmorillonite clay: Introduction and evaluation of its applications in different organic syntheses as catalyst: A review. Results in Chemistry, 4, 100549

الملاحق

لوحة رقم (1-1)

- (1-1) متحجر الـ Miliolid تحت (5x) في نموذج (A 12) في مقطع كلي دهوك.
- (2-1) متحجر الروتاليد تحت (5x) في نموذج (A01) في مقطع كلي دهوك.
- (3-1) متحجر الـ Textularia تحت (5x) في نموذج (13D) في مقطع كلي دهوك.
- (4-1) متحجر الـ Alveolinidae تحت (5x) في نموذج (A01) في مقطع كلي دهوك.
- (5-1) متحجر الـ Orbitolites تحت (5x) في نموذج (12A) في مقطع كلي دهوك.
- (6-1) متحجر بطينة القدم Gastropoda تحت (5x) في نموذج (A01) في مقطع كلي دهوك.

Plate1



اللوحة رقم 2

(1-2) متحجرات الطحالب الخضراء المزرقية تحت (x5) في نموذج (A01) في مقطع كلي دهوك

(2-2) حطام اوكسارات الأحياء تحت (x5) في نموذج (12A) في مقطع كلي دهوك

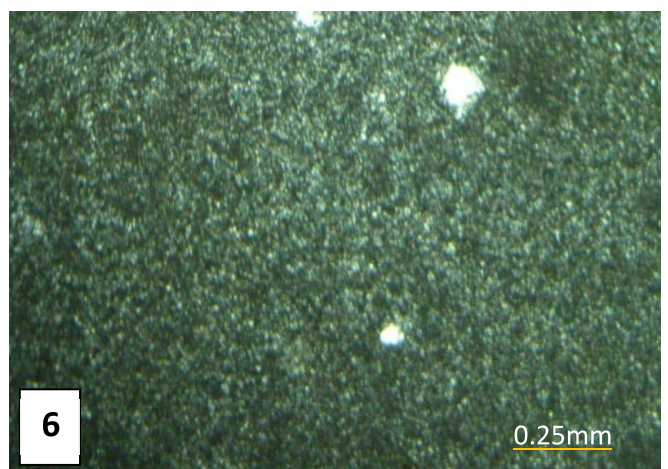
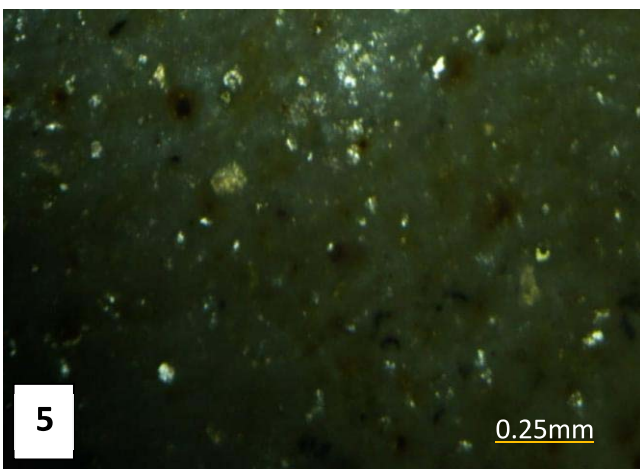
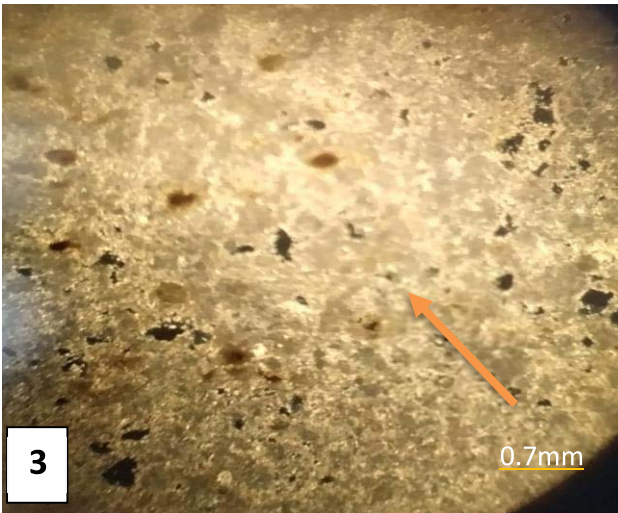
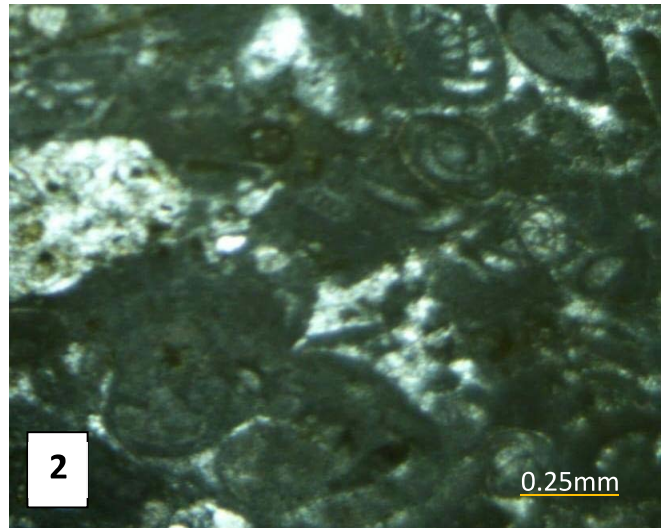
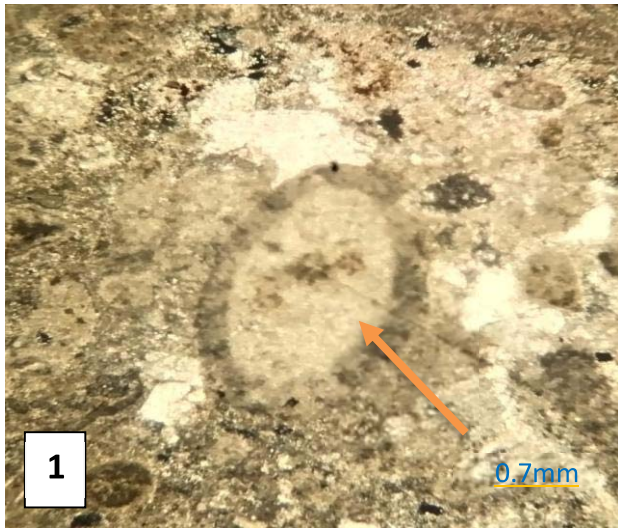
(3-2) الحبيبات الغير هيكلية المتمثلة ب peloids تحت (x5) في نموذج (13D) في مقطع كلي دهوك.

(4-2) فتاتات صخرية تحت (x5) في نموذج (12A) في مقطع كلي دهوك

(5-2) يوضح الارضية المكريتية تحت (x5) في نموذج (5) في مقطع أقوبان

(6-2) يوضح الارضية المتمثلة بالسبار الدقيق تحت (x5) في نموذج (9) في مقطع اقوبان

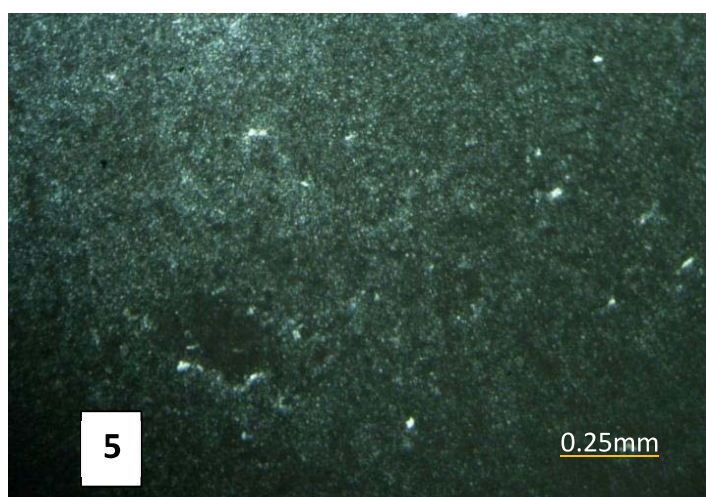
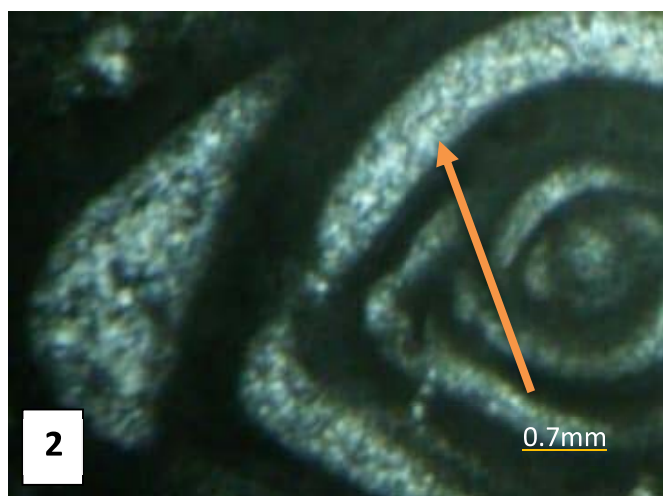
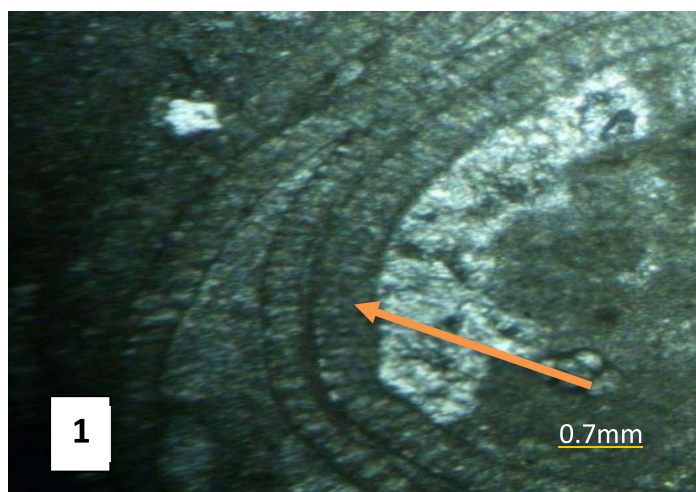
Plate2



اللوحة رقم 3

- (1-3) يوضح السمنت البلوكي تحت (x5) في نموذج (A01) في مقطع كلي دهوك
- (2-3) يوضح السمنت الحبيبي تحت (x5) في نموذج (A01) في مقطع كلي دهوك
- (3-3) يوضح السمنت النصلي تحت (x5) في نموذج (A12) في مقطع كلي دهوك
- (4-3) يوضح السمنت الدولومايتي تحت (x5) في نموذج (13D) في مقطع كلي دهوك
- (5-3) يوضح عملية اعادة التبلور تحت (x5) في نموذج (9) في مقطع اقوبان
- (6-3) يوضح عملية السلكتة تحت (5x) في نموذج (11) في مقطع كلي دهوك

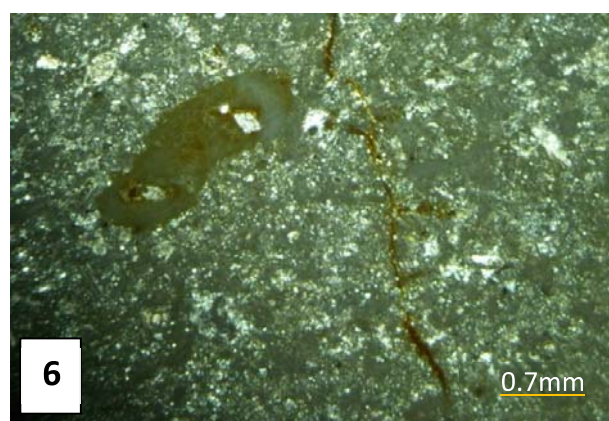
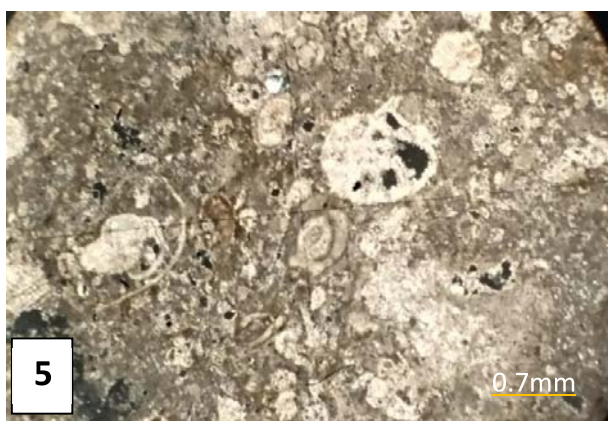
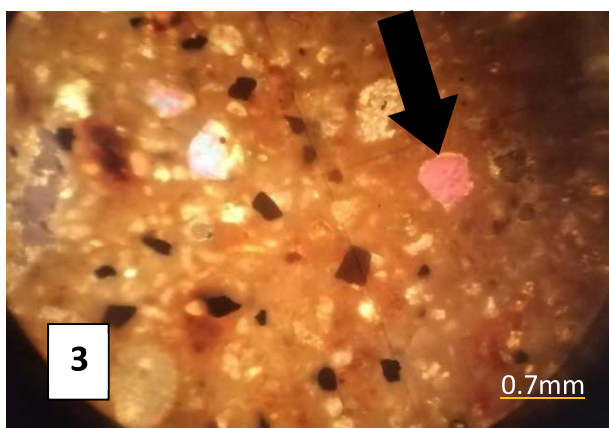
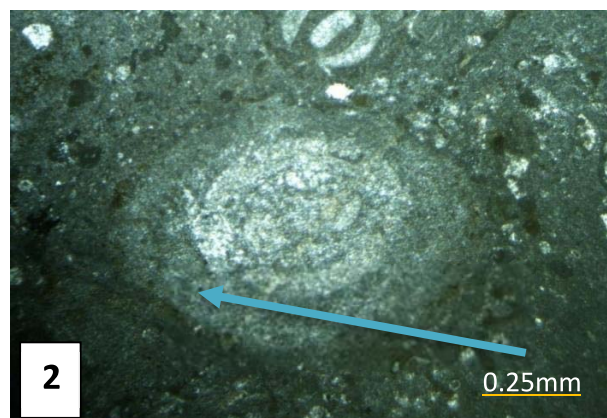
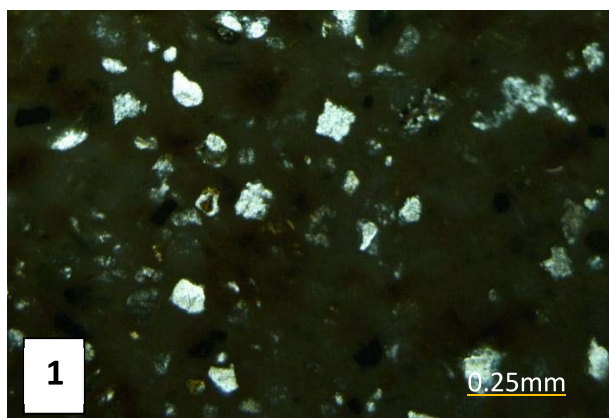
Plate 3



اللوحة رقم 4

- (1-4) يوضح عملية الدلمتة الأرضية تحت (5x) في نموذج (11) في مقطع كلي دهوك
- (2-4) يوضح عملية الدلمتة للبلورات تحت (x5) في نموذج (13D) في مقطع كلي دهوك
- (3-4) يوضح سحنة الحجر الجيري الطيني الحاوي على متبخرات الثانوية الدقيقة. تحت (5x) في نموذج (11) مقطع كلي دهوك.
- (4-4) يوضح عملية الديلمته تحت (x5) في نموذج (11) في مقطع كلي دهوك
- (5-4) يوضح عملية الانضغاط المكيانيكي (الفيزيائي) تحت (5x) في نموذج (13D) في مقطع كلي دهوك
- (6-4) يوضح عملية الانضغاط الكيميائي (الستايلايت) تحت (5x) في نموذج (A01) في مقطع كلي دهوك

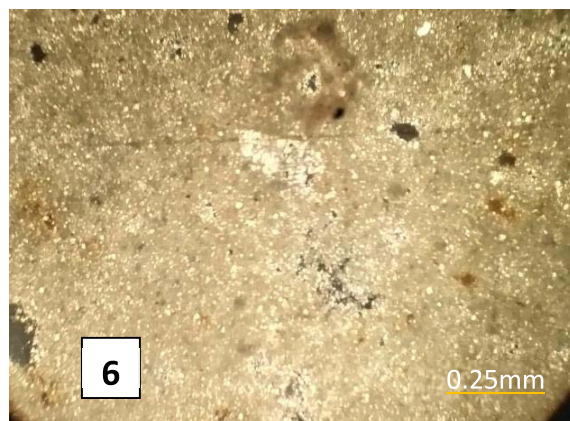
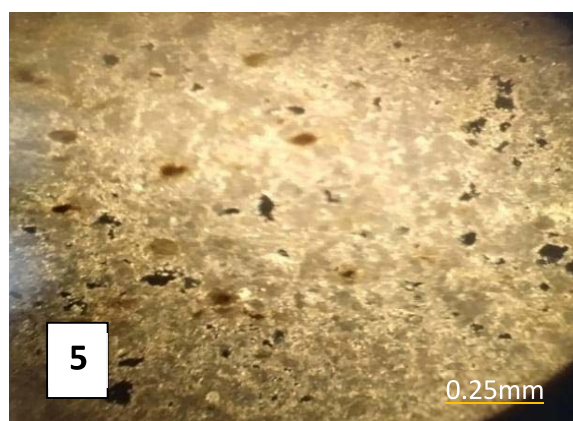
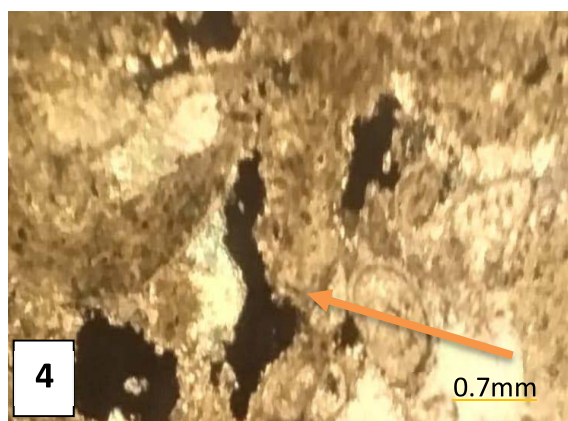
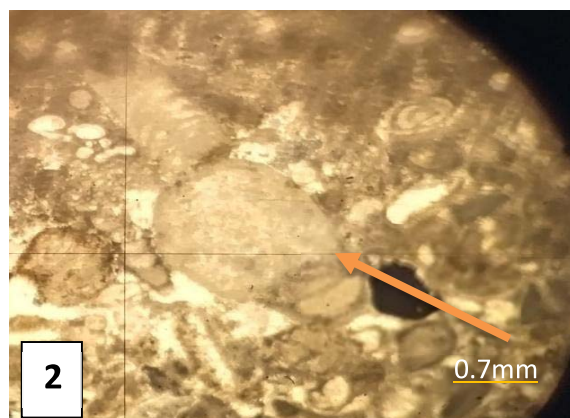
Plate 4



اللوحة رقم 5

- (1-5) يوضح عملية المكركة تحت (5x) في نموذج (A12) في مقطع كلي دهوك
- (2-5) يوضح عملية الازابة تحت (5x) في نموذج (A01) في مقطع كلي دهوك
- (3-5) يوضح المسامية القالبية تحت (5x) في نموذج (13B) في مقطع كلي دهوك
- (4-5) يوضح المسامية للفجوات تحت (5x) في نموذج (A01) في مقطع كلي دهوك
- (5-5) يوضح المعادن الموضعية الناشئة المتمثلة بـ pyrite تحت (5x) في نموذج (13D) في مقطع كلي دهوك
- (6-5) يوضح السعة الحجر الجيري الطيني الحاوي على فتات صخرية الثانوية الدقيقة تحت (x5) في نموذج (17H) في مقطع كلي دهوك

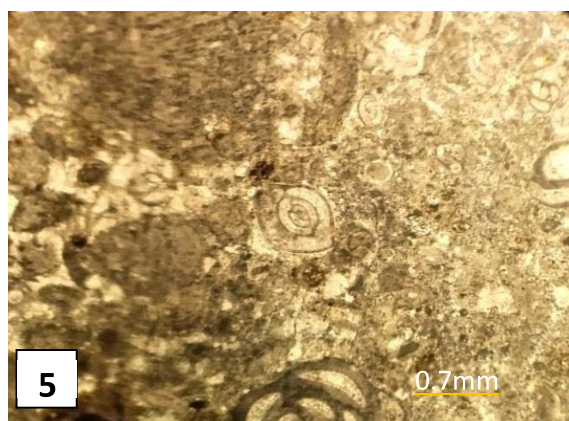
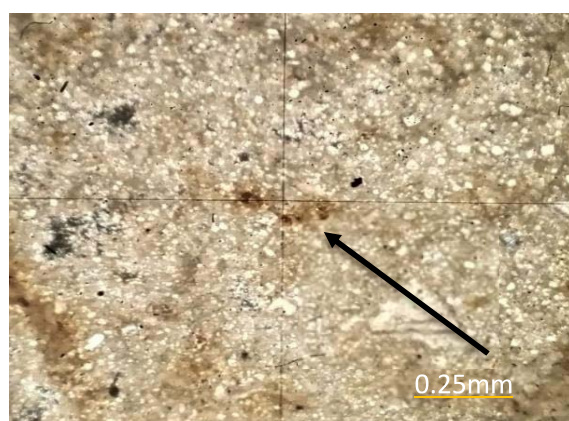
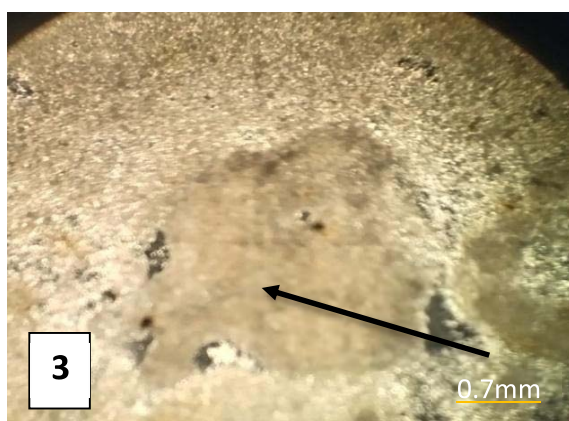
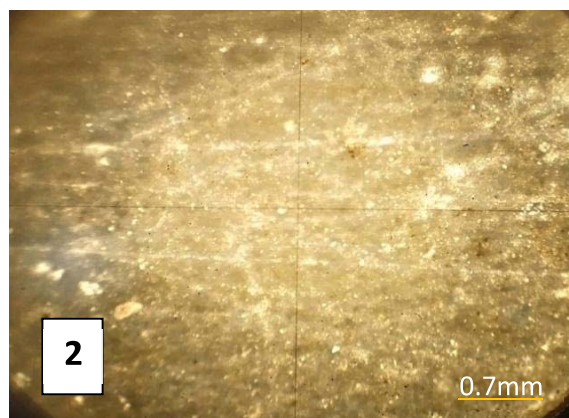
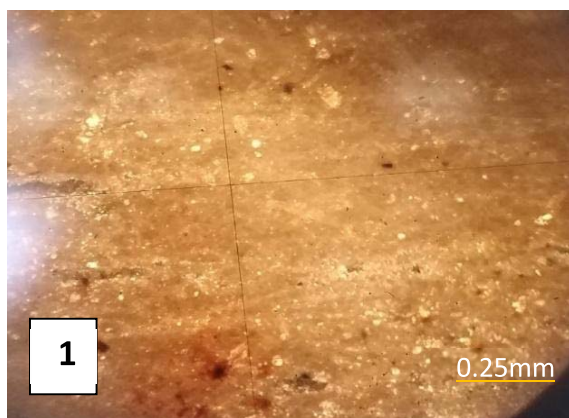
Plate 5



اللوحة رقم 6

- (1-6) يوضح الحجر الجيري الطيني الدملي الثانوية الدقيقة تحت (5x) في نموذج (9) في مقطع أفقياً.
- (2-6) يوضح سحنة الحجر الجيري الواكي الحاوي على الطحالب الثانوية الدقيقة تحت (X5) في نموذج (17A) مقطع كلي دهوك
- (3-6) يوضح سحنة الحجر الجيري الواكي الحاوي على فتاتات صخرية الثانوية الدقيقة. تحت (5x) في نموذج (13B) في مقطع كلي دهوك
- (4-6) سحنة الحجر الجيري الواكي الدملي الثانوية الدقيقة. تحت (5x) في نموذج (13D) في مقطع كلي دهوك.
- (5-6) سحنة الحجر الجيري المرصوص الحاوي على متحجرات الفورامينزا الثانوية الدقيقة. تحت (5x) في نموذج (A01) في مقطع كلي دهوك
- (6-6) سحنة الحجر الجيري المرصوص الحاوي على متحجرات الميلوليد الثانوية الدقيقة. تحت (5x) في نموذج (12A) في مقطع كلي دهوك

Plate 6



ABSTRACT

The sequence of Avanah Formation (Middle - Late Eocene) has been studied in two exposed sections in northern Iraq. The first section is (8m.) thick and located in Aqupan area at the northern plunge of Safin Anticline near the Shaqlawa region, while the second section is (52m) thick and located in the Duhokregion at Bekhear Anticline. The succession is composed of limestone, dolomitic limestone, marly limestone, marl and black shale. The study recorded some sedimentary structures in some parts of the formation section such as lenticular and flaser bedding as well as herring bone cross-bedding. In the two sections, the lower contact of the formation is unconformable with the Gercus formation, while the upper contact of the formation appears to be conformable with the Pila Spi Formation.

According to petrographic analysis, the formation rocks contain skeletal grains of the benthic foraminifera (such as miliolids and rovaliids), and larger forams (such as alveolinids), in addition to mollusca and green algae. The bioclasts of these organisms also include peloids and lithoclast. The matrix consists of micrite. The formation sequences have shown effects of diagenesis processes such as dolomitization, cementation, silicification, recrystallization, dissolution, physical dedolomitization and chemical compaction, micritization and Authigenic Minerals. According to bulk analysis, by XRD the primary mineral in carbonate rocks is dolomite, while the calcite and clay minerals are secondary in amount.

Facies analysis studies have shown that the sequences of Avanah Formation consist of three main microfacies: lime mudstone, lime wackstone and lime packstone. These microfacies are further subdivided into eight submicrofacies. In addition, six other lithofacies are as follows:

herring bone cross-bedding limestone lithofacies, flaser and lenticular bedding limestone lithofacies, madcrack limestones lithofacies, Lamination limestone lithofacies Stromatolites limestones lithofacies and shale lithofacies.

The results of facies analysis indicated that the formation was deposited in a tidal flat environment. Facies analysis revealed that the lower parts were deposited in subtidal environments, the middle parts in intertidal environments, and the upper parts in supratidal flat environments. That is, the formation was deposited in an upward-shallowing facies.

University of Al Mosul

College of Science

Department of Earth Sciences



**Sedimentological study of Avanah Formation in
Aqupan and Gali Duhok sections, northern
Iraq**

Amina Waleed Hamed

Master Thesis

Geology/sedimentology

Supervised by

Professor Dr.

Rafi Ibrahim Al-Hamidi

1446AH

2025 AD

University of Al Mosul

College of Science

Department of Earth Sciences



Sedimentological study of Avanah Formation in
Aqupan and Gali Duhok sections, northern
Iraq

A letter submitted by the student

Amina Waleed Hamed

To the Council of the College of Science at the University of
Mosul, which is part of the requirements for the Master's degree
in the field of Earth Sciences, Sedimentology

Supervised by

Professor Dr.

Rafi Ibrahim Al-Hamidi

1446AH

2025 AD