الفصل الرابع

الطحالب
Algae

• الطحالب الكلسية وغير الكلسية • الطحالب الخضراء المزرقة • الستروماتوليت • الطحالب الخضراء المتكلسة • الطحالب الحمراء المتكلسة • الكريستوفيتا • الدياتومات • التاريخ الجيولوجي

الطحالب هي كائنات حية تعيش في البيئات المائية وتتغذى عن طريق التمثيل الضوئي. وتتكون من نسيج خلوي لا وعائي (Non vascular)، يسمى الثالوس (Thallus)، وهناك طحالب بدائية تسمى الطحالب الخضراء المزرقة (Blue-green algae)، التي تتميز بالتركيب الخلوي البسيط، المتمثل أساسًا في عدم وجود غشاء نووي واضح حول النواة. إضافة إلى أنها تتكاثر بالانقسام فقط. أما الطحالب الأرقى فهي الطحالب الخضراء (Green algae)، والطحالب الحمراء (Red algae)، التي تتميز خلاياها بالاكتمال، حيث تحتوي على غشاء نووي مميز وعضيات وحويصلات متناثرة في الهلام. تمثل البدايات الأولى في المملكة النباتية (Kingdom:Plantae). وتختلف النباتات الأرقى عن الطحالب الخضراء والحمراء، في عدم احتواء الأخيرة على أنسجة وعائية ناقلة (مثل الخشب واللحاء) بالإضافة إلى أن النسيج الخلوي للطحالب لا ينقسم إلى جذور وسيقان وأوراق.

تتميز الطحالب باحتوائها على صبغة الكلوروفيل الخضراء بشكل أساسي بالإضافة إلى صبغات أخرى ذات ألوان حمراء أو بنية، ولهذا تكتسب الطحالب ألوانًا مختلفة تبعًا للصبغة الغالبة في نسيجها الخلوي.

يتراوح حجم الطحالب بين عشرات الأمتار في بعض الأنواع الضخمة إلى الأحجام المجهرية التي لا ترى بالعين المجردة إلا باستعمال المجهر. وهكذا فبعض الطحالب الكبيرة تُكوِّن شعاباً ضخمة في مياه البحار، مثل تلك الموجودة في مياه المحيط الأطلسي (Ginsburg *et al.*,1971)، بينما يعيش بعضها الآخر داخل صدفات الفورامنيفرا والراديولاريا. والطحالب كائنات موغلة في القدم، حيث ظهرت أنواعها الأولى في ما قبل العصر الكمبري، ومازال يوجد منها أنواع عديدة تعيش حتى وقتنا الحاضر.

الطحالب الكلسية وغير الكلسية

Calcareous and Non-calcareous Algae

تفرز بعض الطحالب مادة كلسية من خلال عمليات كيميائية حيوية (Biochemical) مختلفة. وتتركز هذه المادة داخل أو خلال أو على السطح الخارجي للنسيج الخلوي للطحالب، أو قد تنحصر في أجزاء معينة من النسيج الخلوي (Wray,1977d).تسمى هذه الطحالب بالطحالب الكلسية وتتمتع بأهمية خاصة من ناحية التأحفر حيث يمكن أن تحفظ الأجزاء الكلسية الصلبة التي تعكس هيكل الطحالب خلال حياتها. تمثل الطحالب الكلسية حوالي ١٠٪ فقط من مجموع الطحالب البحرية.

تتكون المادة الكلسية من معدن الكالسيت أو من معدن الأراجونيت دون الجمع بينهما. وتتكون مادة كربونات الكالسيوم إما نتيجة لإفرازات خلوية أو نتيجة لامتصاص ثاني أكسيد الكربون من خلال جدار الخلية أثناء عملية التمثيل الضوئي (Scoffin, 987).

هناك طحالب أخرى لا تفرز كربونات الكالسيوم، مثل الدياتومات السيليسية والسوطيات بالإضافة إلى بعض الطحالب الخضراء والحمراء التي تحتفظ بها الصخور على شكل بقايا عضوية، تلك الموضحة في اللوحات المصورة عن فلوجيل (Flugel, 1977).

وسنقوم فيما يلي بدراسة الطحالب الكلسية بشيء من التفصيل، وذلك لأهميتها الأحفورية خاصة في الصخور الجيرية. وبصفة عامة يمكن تقسيم البنيات الكلسية للطحالب ودورها المهم في نشأتها إلى قسمين أساسيين:

١ – بنيات كلسية غير هيكلية Non-skeletal Calcareous Structures

مثل الستروماتوليت (Stromatolites) {لوحة رقم (٤,١)، صورة (١) في نهاية الفصل}، الأنكوليت (Oncolites) {لوحة رقم (٤,١)، صورة (٢) في نهاية الفصل}، وهي تنشأ بسبب التعاقب بين العمليات الحيوية التي تقوم بها الطحالب والعمليات الرسوبية الطبيعية. هذه الطحالب هي في معظم الأحيان من النوع البدائي الذي يسمى بالطحالب الخضراء المزرقة.

٢ – بنيات كلسية هيكلية Skeletal Calcareous Structures

وهذه تمثل الإفرازات الكلسية التي تفرزها الطحالب الخضراء والحمراء وقليل من الطحالب الخضراء المزرقة حول نسيجها الخلوي {لوحة رقم (٤,٢)، الصور من (١ إلى ٦) في نهاية الفصل}، ومن ثم فإن هذا الغطاء الكلسي يعكس هيكل الطحلب الذي أفرزه. ونعرض فيما يلي الأقسام الرئيسية الثلاثة من الطحالب والبنيات الكلسية التي ترتبط بها.

الطحالب الخضراء المزرقة

Blue-Green Algae

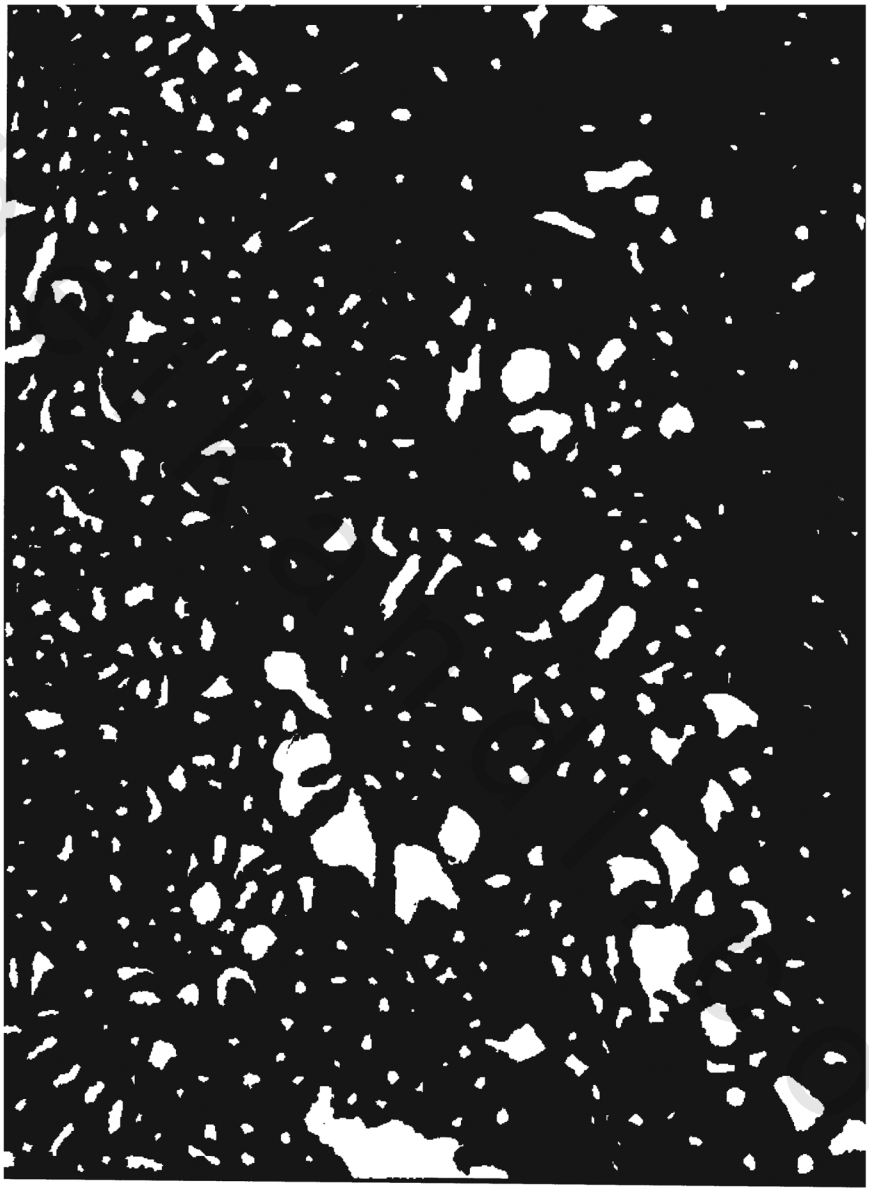
ينبثق من المملكة النباتية Kingdom: Plantae العديد من الأقسام منها قسم السيانوفيتا Division: Cyanophyta حيث يُعَدُ لفظ الطحالب الخضراء المزرقة الاسم الدارج لهذا القسم. ولو أن عدداً متزايداً من العلماء يرى أن الطحالب الخضراء المزرقة قسم من أقسام البكتريا (Scoffin,1987). تتميز هذه الكائنات البدائية بتركيب خلوي بسيط بحيث لا يحيط النواة غشاء نووي مميز، بالإضافة إلى عدم وجود بعض المكونات الخلوية كما هو مبين في الشكل رقم (٤,١). وتضم الخلية بالإضافة إلى صبغة الكلوروفيل الخضراء، صبغات أخرى تنتشر بالقرب من جدار الخلية لتكسب هذه الطحالب اللون الأخضر المزرق، ولو أن بعض الأنواع تتميز بلون زيتوني أو أحمر، حتى أن البحر الأحمر سمي بذلك نظراً لوجود هذه الأشكال من الطحالب الحمراء.

وتتميز خلايا هذا النوع من الطحالب بأشكال متعددة فمنها الكروي والبيضي والقرصي والأسطواني والكمثري. وقد توجد الخلية بمفردها، أو على هيئة مجموعة من الخلايا، مكونة مستعمرات ذات أشكال مسطحة، وكروية، ومكعبة، وخيطية، وخيطية متشعبة. وتحاط هذه المستعمرات بغلاف صمغي من مادة سيليولوزية (Wray, 1977).

وغالباً ما تكون البقايا الأحفورية لهذه الطحالب متمثلة في الغلاف الصمغي الذي يقاوم التحلل بعكس المادة الخلوية نفسها التي سرعان ما تتحلل.

تصنيف الطحالب الخضراء المزرقة Classification of Blue-Green Algae

تصنف الطحالب الخضراء المزرقة، على أساس أنها إما أحادية الخلايا أو عديدة الخلايا، وكذلك طريقة انتظام وترتيب الخلايا في حالة المستعمرات،



الشكل رقم (٤,١). الطحالب الخضراء المزرقة Blue-green Algae (Wray, 1980) .

بالإضافة إلى وجود أو غياب حويصلات التكاثر (Heterocysts). تصنف الطحالب الخضراء المزرقة كما يلي:

المملكة: النباتية Kingdom: PLANTAE

قسم: السيانوفيتا Division: CYANOPHYTA

طائفة: السيانوفيشيا Class: CYANOPHYCEAE

رتبة: الكروكوكال Order: CHROOCOCCALES

تتميز هذه الرتبة بأنها وحيدة الخلية، أو تكون خلاياها متجمعة بطريقة غير محكمة، ويضمها غلاف صمغي.

رتبة: النستوكال Order: NOSTOCALES

تتميز هذه الرتبة بأن خلاياها متجمعة في شكل مستعمرات خيطية غير متفرعة، أو ذات تفرع كاذب، ويتميز بعضها بوجود حويصلات التكاثر (Heterocysts).

رتبة: الستيجونمتال Order: STIGONEMATALES

تتميز هذه الرتبة بأنها توجد على هيئة مستعمرات خلوية متفرعة تفرعاً حقيقياً، بالإضافة إلى وجود حويصلات التكاثر.

بيئة الطحالب الخضراء المزرقة Ecology of Blue-Green Algae

تتميز هذه الطحالب بالقدرة على تحمل الظروف البيئية القاسية مثل الحرارة الشديدة والبرودة الشديدة أو درجات الملوحة المرتفعة أو النقص في الأكسجين.

ويرجع ذلك لكون هذه الطحالب مكتفية ذاتياً من حيث الغذاء، فهي قادرة على إجراء عملية التمثيل الضوئي في أقسى الظروف البيئية، كما أنها تقوم بتثبيت النيتروجين بنفسها. وقد تم استغلال هذه الخاصية في زيادة خصوبة حقول الأرز في شمال شرق آسيا.

وقد أدت قوة التحمل الفائقة للطحالب الخضراء المزرقة إلى انتشارها الواسع في مختلف البيئات، ولكنها بالطبع لا تعيش إلا في وجود الضوء اللازم لعملية التمثيل الضوئي. وقد وجد أن هذه الطحالب تستطيع العيش حتى في أقل التركيزات الضوئية وفي أعماق تتجاوز ٣٠٠م تحت سطح التربة وفي أعماق تصل إلى ١٠٠٠م تحت سطح الماء (Brasier, 1980)، كما أن هذه الطحالب تنتشر في الأوساط القاعدية أو المتعادلة بينما تقل في الأوساط الحمضية.

وفي وقتنا الحاضر تعيش الطحالب الخضراء المزرقة في مختلف البيئات البحرية والبرية الرطبة ويبدو أن الأنواع الحديثة من هذه الطحالب، والتي تعيش في بيئات بحرية عادية، لا تفرز أي مادة كلسية مع أن الأنواع القديمة والمتأحفرة منها كانت تفرز هذه المادة (Wray, 1977). وهذا يؤكد أن دراسة البيئة الحديثة ينبغي أن تتم بحرص ودقة متناهية لكي تساعدنا في استنتاج البيئة القديمة للأحافير.

البنيات الكلسية التي ترتبط بالطحالب الخضراء المزرقة

The Calcareous Structures Related with Blue-Green Algae

تقوم الطحالب الخضراء المزرقة بدور أساسي في تكوين البنيات الكلسية الصفائحية، مثل الستروماتوليت والأنكوليت وغيرها - بينما تقوم أنواع قليلة من هذه الطحالب بإفراز البنيات الكلسية الهيكلية التي تحيط بالنسيج الخلوي، ومن أمثلة النوع الأخير جنسا أورتونيلا *Ortonella* {لوحة رقم (٤,٣)، صورة (١) في نهاية الفصل} وجيرفانيلا *Girvanella* {لوحة رقم (٤,٣)، الصور (٢،

٣، ٤) في نهاية الفصل} وهذا الجنس يفرز مادة كلسية تحيط بخلاياه المنتظمة في مستعمرات خيطية (Wray, 1977).سنقوم فيما يلي بدراسة أهم البنيات الكلسية غير الهيكلية التي ترتبط بالطحالب الخضراء المزرقة.

الستروماتوليت Stromatolites

الستروماتوليت هي بنيات كلسية صفائحية تتكون من رقائق متعاقبة من الحصر الطحلبية (Algal mats) وأخرى مكونة من حبيبات دقيقة من الحجر الجيري. وتتراوح أبعاد هذه البنيات في العادة من سنتيمترات قليلة ، إلى عشرات السنتيمترات ، ويبلغ سمك الرقيقة الواحدة حوالي مليمتر واحد. وان كانت هناك أحجام عملاقة من الستروماتوليت تصل أبعادها إلى عشرات الأمتار كتلك الموجودة في صخور ما قبل الكمبري (Hofmann, 1969; Wray, 1977).

وتلعب الطحالب - خاصة الخضراء المزرقة - دورًا أساسيًا في تكوين الستروماتوليت ، حيث تقوم الحصر الطحلبية بمقام مصيدة جيدة للصق الحبيبات الدقيقة بالأغلفة الصمغية التي تغطي النسيج الخلوي للطحالب. فإذا تمت تغطية الحصيرة الطحلبية برقيقة من الرسوبيات الدقيقة فإن بعض الطحالب تنفذ من الرقيقة الرسوبية لتكون مستعمرة طحلبية أخرى في شكل حصيرة جديدة. وهكذا يتتابع تكون الرقائق الطحلبية (ذات اللون الداكن) والرقائق الرسوبية (ذات اللون الفاتح) لتتكون الستروماتوليت في النهاية (Wray, 1977).

وفي بعض الأحيان يمثل تكون الرقائق تتابعاً زمنياً معيناً (قد يعني يوماً أو فصلاً أو سنة) فعلى سبيل المثال قد يرتبط تكون الرقائق الرسوبية بالتدفقات الرسوبية اليومية الناتجة عن حركة المد والجزر.

وقد يتسع امتداد هذه البنيات لتغطى مساحات واسعة بشكل مستو ، ويطلق عليها اسم الرقائق الرسوبية الطحلبية (Algallamina sediments) .وفي

أحيان أخرى، تأخذ الرقائق شكل القباب، أو الأعمدة المتصاعدة التي تكون متعددة الرؤوس، حيث يطلق عليها اسم ستروماتوليت (Stromatolites) (Wray,1977). أما الكريات الطحلبية الأنكوليت (Oncolites)، فتمثل نوعاً من الستروماتوليت تتميز برقائق كروية متحدة المركز وتكون عادة حرة الحركة والتدحرج (Brasier,1980).

تنتشر الستروماتوليت في وقتنا الحاضر في المناطق الاستوائية، وذلك في البيئات المائية الضحلة (عذبة كانت أو مالحة) مثل بيئة ما فوق المد (Supertidal environment)، وبيئة ما بين المد والجزر (Intertidal environment) أو البيئة الشاطئية (Littoral environment)، وينـدر وجودها في بيئة ما تحت الجزر (Subtidal environment)، أو البيئة دون شاطئية (Sublittoral environment) وتتميز البيئات التي تنتشر فيها الستروماتوليت بسرعة التصلب وندرة الكائنات القاعية اللافقارية التي تسبب اضطرابات وتحدث ثقوباً في القاع مما يعوق تكوين الحصر الطحلبية (Brasier, 1980; Scoffin, 1987). هذا وتتميز الستروماتوليت المتكونة في بيئات مائية ضحلة، بوجود نسيج مثقب (Fenestral texture) بالإضافة إلى وجود بعض معادن المتبخرات. ويعكس الشكل الخارجي للستروماتوليت صورة من الظروف البيئية مثل شدة التيارات المائية، واتجاهاتها، وعمق المياه، وكمية الرسوبيات الموجودة، ودرجة التعرض للعوامل الجوية خلال فترات الجزر بالإضافة إلى أنواع الطحالب المشتركة في تكوين الستروماتوليت. وقد أورد سكوفن (Scoffin, 1987) الدلالات البيئية للأشكال المختلفة للستروماتوليت على النحو التالي:

١ - استروماتوليت متكونة في منطقة ما فوق المد ومنطقة ما بين المد والجزر.

٢ - استروماتوليت تكونت في المناطق الجافة ذات المدى الواسع بين المد والجزر.

٣ - انكوليت تكونت في بيئات ذات درجات نشاط عالية.

وبالرغم من أن الستروماتوليت الحديثة تنتشر في المياه الضحلة، إلا أن الستروماتوليت المتأحفرة كانت تنمو في المياه العميقة. وقد يرجع هذا إلى غياب الكائنات القاعية في العصور القديمة، مما أتاح الفرصة للستروماتوليت بالتكون في مدى بيئي واسع.

وهناك بنيات كلسية أخرى تشارك في تكوينها الطحالب أيضاً مثل الثرمبوليت (Thrombolites) التي تفتقر لخاصية الرقائق، ولكنها تتميز بنسيج مزخرف (Brasier, 1980). كما أن هناك بعض الطحالب الخضراء المزرقة التي تقوم بعمل ثقوب عديدة في المواد الكلسية الصلبة (مثل أصداف الكائنات الأخرى) حيث تملأه هذه الثقوب بالميكريت، مكونة بذلك حافظة الميكريت (Micrite envelope) حول الصدفة التي ثقبتها الطحالب. وقد تتكون حافظة الميكريت حول الصدفة نتيجة نمو الطحالب الخضراء المزرقة خارج سطح الصدفة ثم تتكلس الطحالب بالميكريت الذي يحيط بنسيجها الخلوي لتتشكل الحافظة (Brasier, 1980).

وقد ظهرت الستروماتوليت في نهاية حقب الحياة الأولية (Archaeozoic Era) ثم ازدهرت واتسع انتشارها في نهاية حقب الحياة المبكرة (طلائع الحياة) (Proterozoic (Eozoic) Era) وبداية حقب الحياة القديمة ثم قل انتشارها بعد ظهور الكائنات القاعية التي تعوق تكوين الحصر الطحلبية (Brasier,1980).

الطحالب الخضراء المتكلسة Calcareous Green Algae

الطحالب الخضراء هي الاسم الشائع لقسم الكلوروفيتا Division Chlorophyta. تتميز الطحالب الخضراء باللون الأخضر الزاهي الذي يرجع إلى كثرة الصبغات الخضراء الموجودة داخل خلاياها. تعيش هذه الطحالب في وقتنا الحاضر، عادة، في المياه العذبة بينما يعيش القليل منها

(حوالي ١٥٪) في المياه المالحة (Wray, 1977) وبعض هذه الطحالب وحيدة الخلية، الشكل رقم (٤,٢) وبعضها الآخر عديد الخلايا. تبلغ نسبة الطحالب الخضراء التي تفرز هيكلاً كلسياً يغطي نسيجها الخلوي حوالي ١٠٪ من مجموع أنواعها الكلي (Wray, 1977)، وتكون البنيات الكلسية التي تفرزها الطحالب الخضراء هشة مما يجعلها تتكسر إلى أجزاء صغيرة.وقد وجد أن بعض أنواع البنيات الكلسية للطحالب الخضراء تتفتت إلى حبيبات ذات أحجام غرينية (Silt sizes) أو طينية (Mud sizes)، ويعتقد أنها تمثل أحد المصادر الرئيسية لحبيبات الغرين والطين الجيري في البيئات الاستوائية الضحلة.

تصنيف الطحالب الخضراء المتكلسة

The Classification of Calcareous Green Algae

تنحصر الطحالب الخضراء المتكلسة في قسم واحد أساسي الذي ينقسم إلى طائفتين الأولى منها تنقسم بدورها إلى رتبتين رئيسيتين حيث تشتمل كل رتبة على عائلة واحدة فقط:

المملكة: النباتية Kingdom: PLANTAE

قسم: الكلوروفيتا Division: CHLOROPHYTA

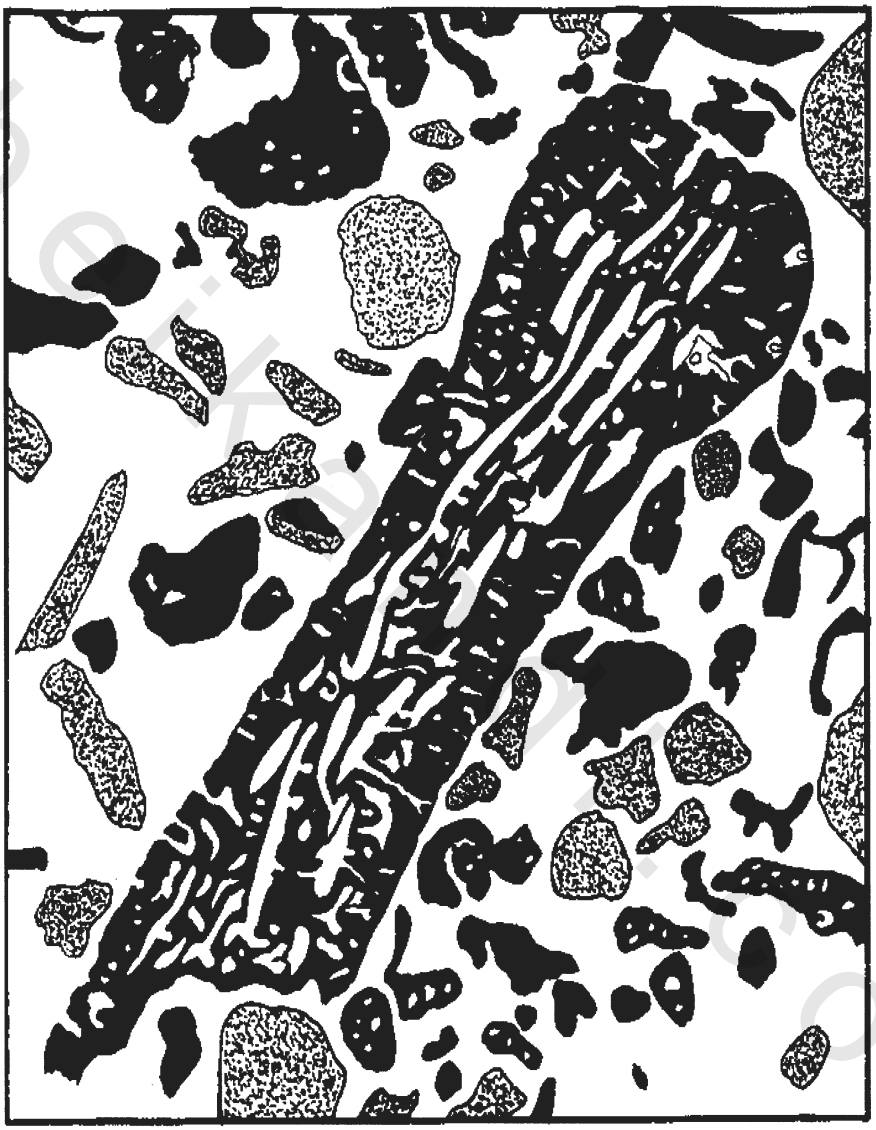
طائفة: الكلوروفيشيا Class: CHLOROPHYCEAE

رتبة: السيفونالز Order: SIPHONALES

عائلة: كودياشيا Family: CODIACEAE

تنمو أغلب أنواع هذه العائلة على هيئة شجيرات منتصبة ومكونة من حلقات وتفرعات يصل ارتفاعها إلى سنتيمترات قليلة (Wray, 1977). وتتكون البنية الداخلية لعائلة كودياشيا من خيوط خلوية أنبوبية متداخلة وإفرازات كلسية على شكل ابر من الأراجونيت تملأ الفراغات بين الخيوط الخلوية.

obeikandl.com



الشكل رقم (٤,٢). الطحالب الخضراء المتكلسة Calcareous green Algae (Wray, 1980) .

و من أهم أجناس عائلة كودياشيا جنس هالي ميدا *Halimeda* {لوحة رقم (٤,٤)، صورة (١) في نهاية الفصل} الذي ظهر في العصر الطباشيري ومازال موجوداً حتى وقتنا الحاضر.

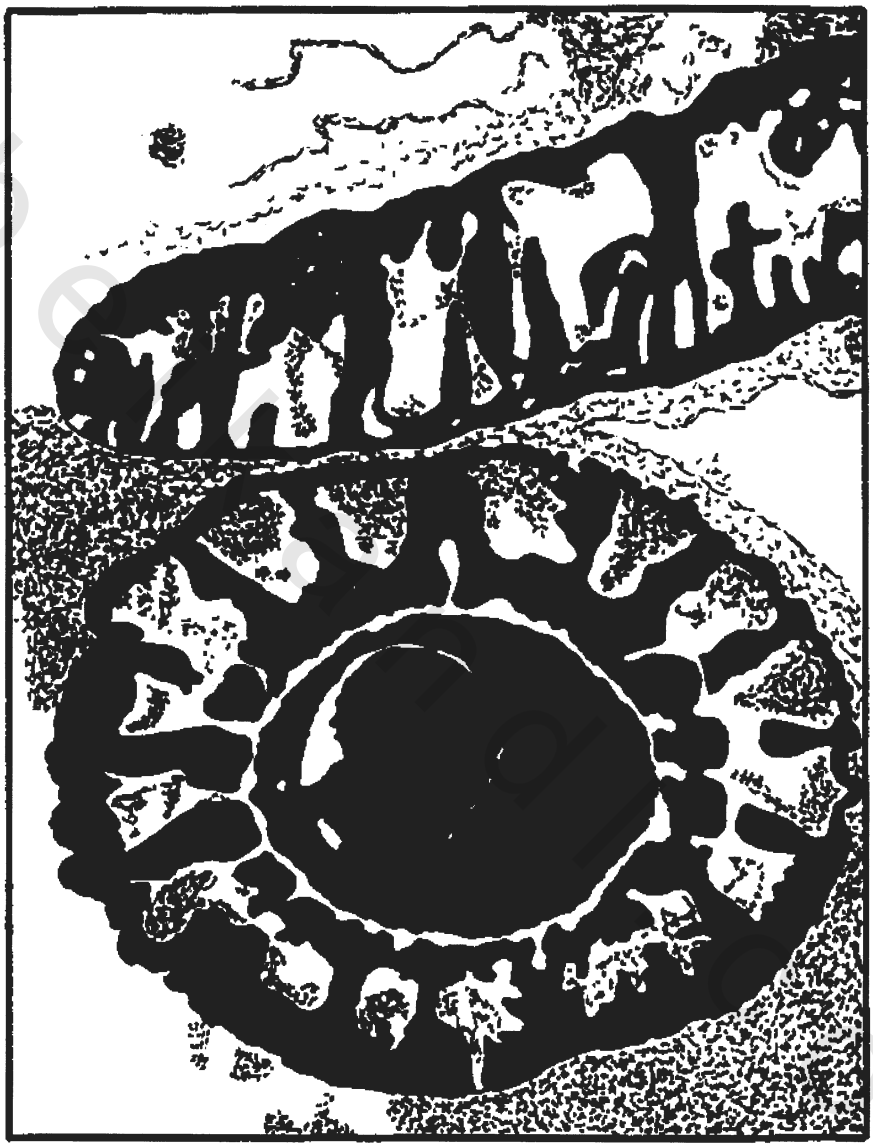
وتعيش عائلة كودياشيا في بيئة البحيرات الشاطئية في أعماق تقل عن عشرة أمتار(Flugel, 1982) حيث تتشبث بالفتات القاعي بشبيهات الجذور (Rhizeid) ومع هذا فهناك بعض أنواع هالي ميدا التي تعيش فوق القيعان الصخرية في بيئة الشعاب (Reef environment) في أعماق قد تصل إلى ١٠٠ م (Scoffin 1987).

رتبة: الدسيكلادال Order: DASYCLADALES

عائلة: دسيكلاداشيا Family: DASYCLADACEAE

تنمو الأنواع المختلفة لهذه العائلة على هيئة شجيرات، كما في الشكل رقم (٤,٣) ذات أشكال متعددة فقد تكون ذات حلقات وتفرعات أو قد تشبه الهراوات وغيرها من الأشكال.يتميز الثالوس في هذه العائلة بوجود محور مركزي يسمى بالسويقة (Stipe) وتحيط به دوائر من الفروع في شكل شعاعي، وقد تتفرع هذه الفروع بدورها إلى فروع أصغر فأصغر.

يقوم الكائن بإفراز مادة كلسية مكونة من ابر الأراجونيت دقيقة الحجم حول الأنسجة الخلوية المتمثلة في السويقة المركزية (Central Stipe) والفروع الشعاعية. وعند تحلل الأنسجة الخلوية يبقى الغطاء الكلسي محتفظاً بفراغات تمثل السويقة المركزية والفروع المتفرعة منها. وفي العادة تملأ هذه الفراغات بالكالسيت الثانوي أو بحبيبات الميكريت خلال عمليات النشأة المتأخرة (Diagenesis).



الشكل رقم (٤,٣). الطحالب الشجيرية من طائفة الكلورفيشيا **(Wray, 1980) Class Chlorophyceae** .

وترجع البدايات الأولى لهذه العائلة إلى العصر الكمبري، وما زالت بعض أنواعها تعيش في البيئات البحرية حتى وقتنا الحاضر، حيث تكثر في المناخ الاستوائي أو شبه الاستوائي، ويعيش أغلبها في البيئات البحرية ذات الملوحة العادية، ولو أن القليل منها يمكنه الحياة في المياه قليلة الملوحة، أو شديدة الملوحة، تتميز بيئة هذه العائلة بدرجة نشاط ضعيفة، حيث تعيش عادة في عمق لا يتجاوز الخمسة أمتار، وذلك في البيئات المحمية من التيارات القوية مثل البحيرات الشاطئية، وتفضل طحالب هذه العائلة التشبث بالقيعان الفتاتية الرملية والطينية، وإن كان بعضها يتشبث بالقيعان الصلبة.

طائفة: الكروفيشيا Class: CHAROPHYCEAE

تُعَدُ هذه الطائفة أرقى من الطائفة السابقة وذلك لتمتعها بخصائص عديدة منها:

١ - وجود نسيج خلوي لحائي ملتف حول الخلية المركزية.

٢ - وجود تفرعات أنبوبية عند فواصل منتظمة على هيئة عقد (Nodes).

٣ - وجود أعضاء واضحة للتزاوج الجنسي متمثلة في أعضاء التذكير (Antherida) وأعضاء التأنيث (Oogonia).

وهناك اتفاق عام على أن التكلس يحدث للأوجنات (أعضاء التأنيث) (Oogonia) ويطلق عليها أيضًا (Gyrogonites)، بينما يختلف العلماء في حدوث التكلس للفروع (Brasier, 1980; Scoffin, 1987; Wray, 1977). والأوجنات (Oogonia) أجسام بيضية محاطة بخلايا أنبوبية مغزلية. يتراوح قطرها بين نصف المليمتر والمليمتر الواحد. بينما يتراوح ارتفاع الطحلب بين السنتيمترات القليلة والمتر الواحد.

وتعيش هذه الطائفة في وقتنا الحاضر في البيئات المائية العذبة والمختلطة (Brackish water) في أعماق قد تصل إلى ١٢م ولهذا فإن للأوجنات أهمية طبقية في دراسة رواسب المياه العذبة خاصة في الفترة الممتدة من العصر الجوراسي وحتى الأوليجوسين علمًا بأن بداياتها الأولى تعود إلى العصر السيلوري (Brasier, 1980).

الطحالب الحمراء المتكلسة Calcareous Red Algae

يعبر عن قسم الرودوفيتا Division : Rhodophyta بالطحالب الحمراء. تحتوي خلايا طحالب هذا القسم على صبغات حمراء وزرقاء، كما هو موضح في الشكل رقم (٤,٤) مما يجعلها تستغل الأطياف الزرقاء من الضوء في عملية التمثيل الضوئي. وهذا يمكنها من الحياة في أعماق كبيرة (تصل إلى ٢٥٠م). ويرجع هذا إلى النفاذية العالية لأطياف الضوء الزرقاء بالنسبة إلى مكونات الضوء الأخرى.وتتميز الأنواع المتكلسة من الطحالب الحمراء بنسيج خلوي شديد الأنتظام، كما تتميز بترسب كميات كبيرة من كربونات الكالسيوم حول وخلال النسيج الخلوي، الشكل رقم (٤,٥).

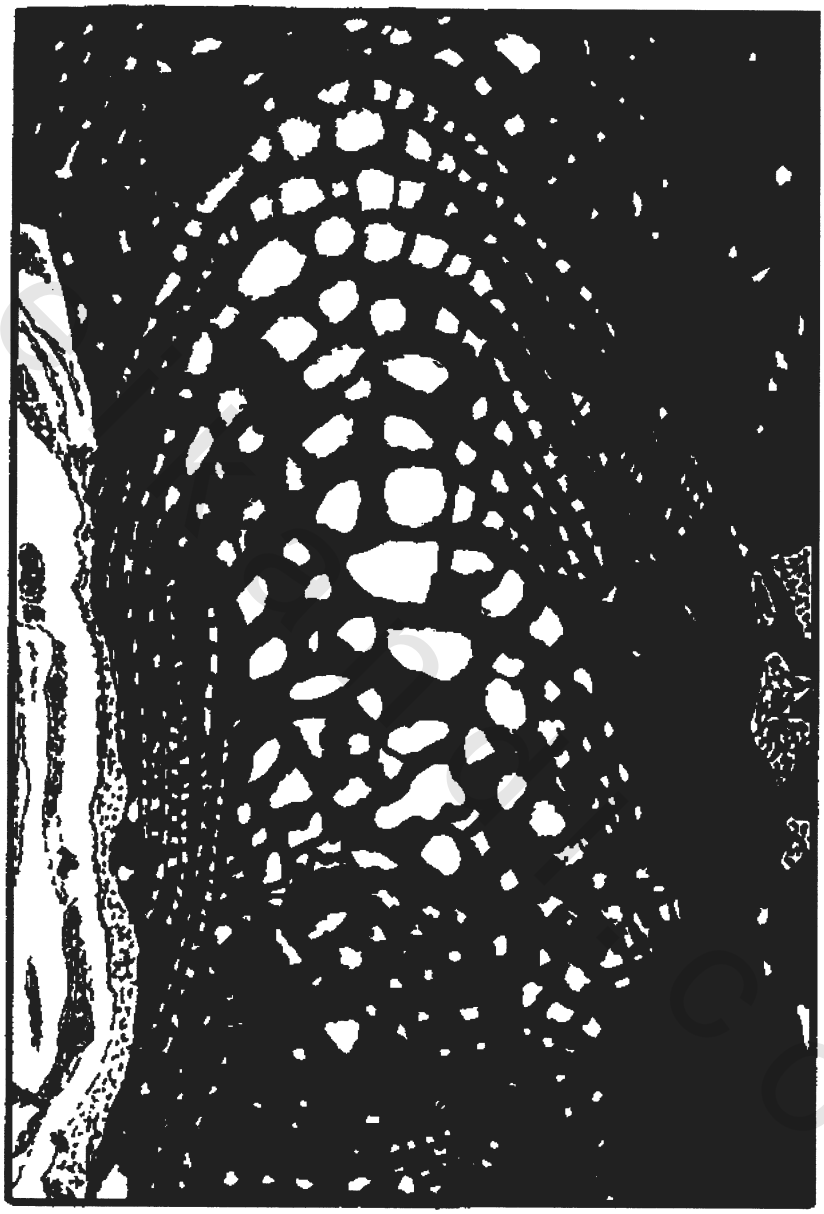
وهذا يجعل الهيكل الكلسي المتأحفر في الصخور الرسوبية ممثلاً بدرجة كبيرة من الدقة مثل جنس ليثوفايلم *Lithophyllum* {لوحة رقم (٤,٤)، صورة (٢) في نهاية الفصل}، وسندرس فيما يلي أهم عائلات الطحالب الحمراء المتكلسة :

عائلة: كورالينشيا Family:CORALLINACEAE

ظهرت هذه العائلة التي تضم معظم الطحالب الحمراء المتكلسة في العصر الجوراسي ومازالت تعيش حتى وقتنا الحاضر. وتتركب الخلايا في هذه العائلة بطريقتين مختلفتين مما يجعل النسيج الخلوي ينقسم إلى طبقتين متميزتين :

١ - الطبقة الأولى (سفلية أو متوسطة) : تسمى بطبقة ما تحت الثالوس (Hypothillium) وتترتب فيها الخلايا بشكل أفقي. تتميز الخلايا فيها بحجم كبير نسبياً (Scoffin, 1987).

الشكل رقم (٤،٤). الطحالب الحمراء Red Algae (عن :Wray, 1980) .



الشكل رقم (٤,٥). الطحالب الحمراء المتكلسة Calcareous Red Algae (عن: Wray, 1980).

٢ - الطبقة الثانية (واقية): تعلو الطبقة الأولى أو تحيطها من أعلى ومن أسفل وتسمى بطبقة ما حول الثالوس (Perithallium)، وتترتب فيها الخلايا بشكل عمودي على القاع. وتحتوي هذه الطبقة الواقية على أعضاء التكاثر التي قد تكون داخل حوافظ أبواغ مستقلة (Sporangia) أو تكون متجمعة في تجاويف داخل النسيج الخلوي.

يظهر النسيج الخلوي المتكلس للطحالب الحمراء في القطاعات الرقيقة في شكل شبكة من المستطيلات كما تتميز هذه القطاعات باللون البني الكثيف في الضوء المستقطب (Scoffin, 1987).

تنقسم عائلة كورالينشيا Corallinaceae إلى تحت عائلتين رئيسيتين، وذلك حسب طريقة النمو:

١ - تحت عائلة: ملوبسيديا Subfamily: MELOBESIOIDEAE

توجد هذه الطحالب على هيئة قشور رقيقة (Crusts) تكسو الأجسام الصلبة فوق القيعان البحرية أو توجد على هيئة عقد (Nodes) أو قد توجد على هيئة فروع صلبة أو كتل غير منتظمة. وهذه الطحالب تكون عادة مثبتة في القاع، ولو أن بعضها يكون حر الحركة، وتقوم بدور مهم في تماسك الشعاب البحرية كما أنها تسهم بشكل كبير في تكوين شعاب صلبة ذات أحجام مختلفة في بيئة ما بين المد و الجزر (Intertidal enviroment)، أو البيئة الشاطئية (Littoral environment).

٢ - تحت عائلة: كورالينويدا Subfamily: CORALLINOIDEAE

تنمو طحالب هذه المجموعة في شكل شجيرات. وهي مقسمة إلى حلقات يتراوح ارتفاعها بين ٥ و ٢٠سم. تتكون هذه الطحالب من حلقات متكلسة تتصل فيما بينها بنسيج خلوي غير متكلس {لوحة رقم (٤,٥)، صورة (١) في نهاية الفصل}. وعندما يموت الكائن وتتحلل الأجزاء الخلوية

منه ينكسر الهيكل المتكلس إلى أجزاء صغيرة (في حجم حبيبات الرمل). ولهذا تفضل هذه الطحالب أن تعيش في البيئات المحمية نظراً لقابليتها الكبيرة للكسر.

عائلة: سولنبوراشيا Family: SOLENPORACEAE

ظهرت هذه العائلة في العصر الكمبري وانقرضت في الباليوسين، ومن ثم فليس هناك طحالب حية تمثلها (Wray, 1977) .وتنمو طحالب هذه العائلة في شكل قشري أو كروي أو عقدي بحيث تتراوح أبعادها بين المليمترات و السنتيمترات القليلة. وتترتب خلايا هذه الطحالب في شكل أنابيب رأسية تبدو في القطاعات الرقيقة على هيئة أشكال عديدة الأضلاع بالإضافة إلى كون حجم الخلايا كبير.

التاريخ الجيولوجي
Geological History

بدأت البنيات الكلسية للطحالب الخضراء المزرقة في الظهور مع بداية حقب الحياة المبكرة (Proterozoic)، حيث ازدهرت واتسع انتشارها. ومع بداية حقب الحياة القديمة (Paleozoic) تراجع انتشارها نتيجة لظهور الكائنات القاعية.

أما الطحالب الخضراء المتكلسة فتشمل عائلة دسكلاداشيا Dascladaceae في العصر الكمبري ولاتزال بعض أجناسها تعيش في وقتنا الحاضر، وكذلك عائلة كودياشيا Codiaceae ممثلة في جنس هالي ميدا *Halimeda*، والذي ظهر في العصر الطباشيري ومازال موجودًا حتى وقتنا الحاضر. وبالرغم من بداية ظهور أوجنات طائفة الكروفيشيا Charophyceae في العصر السيلوري إلا أن أهميتها الطبقية تتمثل في دراسة رواسب العصر الجوراسي وحتى الأوليجوسين.

أما الطحالب الحمراء المتكلسة فإنها تشتمل على عائلة سولنبوراشيا Solenporaceae التي ظهرت في العصر الكمبري وانقرضت في الباليوسين وعائلة كورالينشيا Corallinaceae، التي تضم معظم الطحالب الحمراء المتكلسة، وقد ظهرت في العصر الجوراسي ومازالت تعيش حتى وقتنا الحاضر.

قسم الكريسوفيتا

Division: CHRYSOPHYTA

تتميز الكائنات التي يضمها هذا القسم بلون ذهبي مميز يعود إلى صبغات التمثيل الضوئي الموجودة في خلاياها. وأغلب هذه الكائنات وحيدة الخلية ولكن بعضها يعيش في تجمعات شبيهة بالمستعمرات. تفرز بعض كائنات هذا القسم غطاءً كلسياً، والبعض الآخر يفرز هيكلاً سيليسياً (مثل الدياتومات) كما أن بعضها مزود بأهداب تساعد على الحركة (Brasier, 1980).

الدياتومات Diatoms

الدياتومات كائنات طحلبية وحيدة الخلية تحتوى على صبغات التمثيل الضوئي ولكنها تتميز عن بقية كائنات هذا القسم بغياب أعضاء الحركة التي تسمى بالأهداب (Flagella). تفرز الدياتومات هيكلاً سيليسياً يسمى بالعلبة (Frastule) ويتكون من مصراعين مختلفين في الحجم بحيث يتداخل أحدهما مع الآخر.

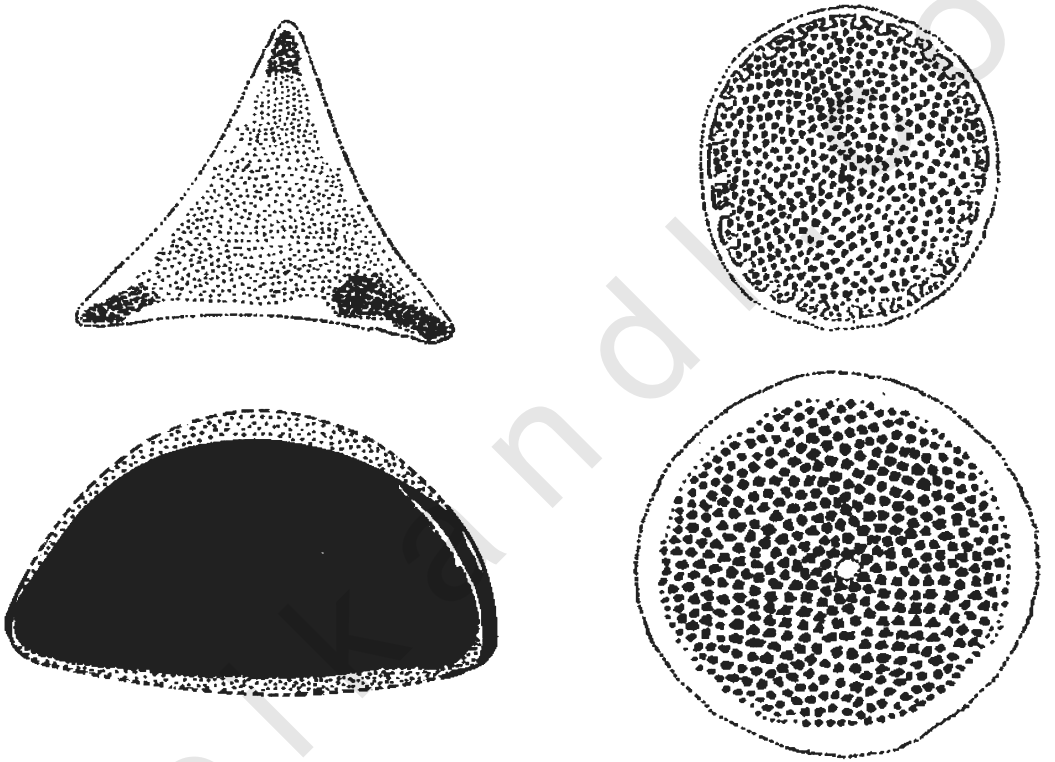
تعيش الدياتومات في مختلف البيئات المائية مثل البيئة البحرية والمياه العذبة والمياه المختلطة (النصف مالحة) بالإضافة إلى البيئات الأرضية الرطبة مثل بعض أنواع التربة. توجد الدياتومات، في العادة، على هيئة خلايا مستقلة تتراوح أبعادها بين ٢٠ - ٢٠٠ ميكروميتر، ولكن في بعض الأحيان، تتجمع الخلايا في شبه مستعمرة بحيث يلتصق

بعضها ببعض بمادة مخاطية. وتتميز الخلايا التي تعيش في شبه مستعمرة بقدرتها على الحياة بصورة مستقلة (Burckle, 1975).

تتكاثر الدياتومات بالانقسام الخلوي البسيط إذ تنقسم الخلية الأم إلى وليدتين بحيث تأخذ كل منهما مصراعاً وجزءاً من هلام الأم. ثم تفرز الخلية الوليدة مصراعاً آخر بحيث يكون أصغر حجماً من مصراع الأم. وهكذا فإن الانقسام الخلوي المتتالي يؤدي إلى (النقص المطرد) في حجم صدفة الدياتومات. لكن الانقسام التزاوجي الذي يحدث بعد مرات عديدة من الانقسام الخلوي البسيط يعمل على استعادة الحجم الأصلي للخلية.

الصدفة Shell

تفرز الدياتومات صدفة مشبعة بالسيليكا تسمى بالعلبة (Frastule). تتكون من مصراعين مختلفين في الحجم بحيث يغطي أحدهما جزءاً من الآخر. يسمى المصراع الأكبر بالمصراع العلوي (Epivalve)، بينما يسمى المصراع الأصغر بالمصراع السفلي (Hypovalve) كما تسمى المنطقة الجانبية التي يحدث فيها التداخل بين المصراعين بمنطقة الحزام (Girdle). وهناك شكلان رئيسيان لأصداف الدياتومات هما الأشكال المركزية (Centric shapes)، كما في الشكل رقم (٤,٦) والأشكال البيضية أو الأشكال الريشية (Pennate shapes)، كما في الشكل رقم (٤,٧). تتخذ الأصداف المركزية أشكالاً عديدة منها المثلثة والدائرية والمستطيلة بحيث تتماثل بنيات وزخارف الصدفة حول نقطة مركزية في وسط المصراع. أما الأشكال الريشية أو البيضية فتتميز بوجود محور طويل نسبياً تتماثل حوله بنيات وزخارف الصدفة، بالإضافة إلى وجود محورين قصيرين. وتصنف الدياتومات تبعاً لهذه المميزات الشكلية إلى رتبتين رئيسيتين والموضحة باللوحات المصورة عن بوركل (Burckle, 1980) هما:



الشكل رقم (٤,٦). نماذج من دياتومات رتبة السنترال Order Centrales (عن:Burckle, 1980) .

obeikandl.com

١ - رتبة: البنال Order: PENNALES {لوحة رقم (٤,٦)، الصور من (١ إلى ٥) في نهاية الفصل}.

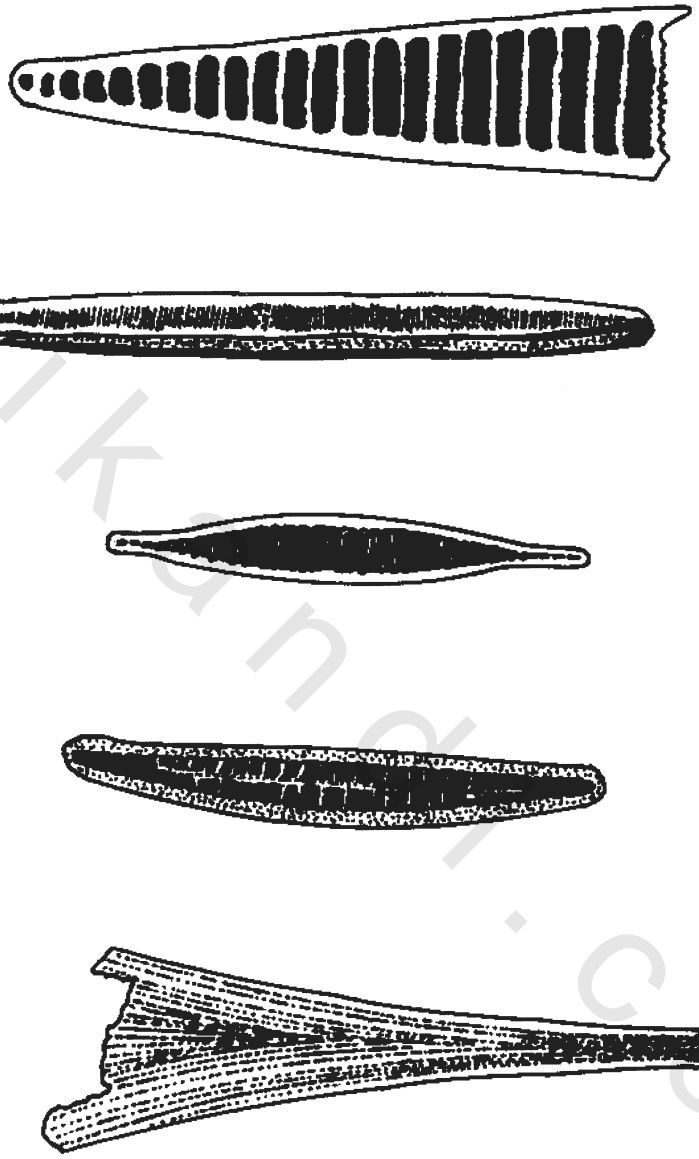
٢ - رتبة: السنترال Order: CENTRALES {لوحة رقم (٤,٦)، الصور من (٦ إلى ٩) في نهاية الفصل}.

وتخترق جدار الدياتومات ثقوب صغيرة وعديدة تشغل من ١٠ إلى ٣٠٪ من المساحة السطحية الكلية للصدفة وتعمل على اتصال الهلام الداخلي بالبيئة الخارجية (Brasier, 1980). وبعض هذه الثقوب يكون مغطى بغشاء غربالي، بينما يكون بعضها الآخر غير مغطى بهذا الغشاء. هناك العديد من أصداف الدياتومات التي تترتب فيها الثقوب بطريقة تشبه قرص خلية النحل. يُعَدُ ترتيب الثقوب وكثافتها من أهم الأسس التصنيفية للدياتومات. وقد تترتب الثقوب

في شكل خطوط منخفضة (Striae) تفصل بينها حواجز مرتفعة وغير مثقبة تسمى مضلعة (Costate). وتتميز الأشكال الريشية للدياتومات بوجود خط طولي غائر غير مشبع بالسيليكا يسمى بخط التلاحم (Raphe line) في منتصف الصدفة بحيث يقسم المصراع إلى نصفين متشابهين تماماً. وفي بعض الأصداف يختفي هذا الخط الغائر ليحل محله منطقة مشبعة بالسيليكا وغير مثقبة تسمى بخط التلاحم الكاذب (Pseudoraphe). هناك عقد مركزية (Central nodes) وعقد قطبية (Polar nodes) توجد على طول خط التلاحم.

البيئة Ecology

تعيش الدياتومات في البيئات التي يتوافر فيها الضوء اللازم لعملية التمثيل الضوئي التي تقوم بها للحصول على الغذاء. كما تنتشر الدياتومات في البيئات التي تتوافر فيها تركيزات عالية من الفوسفور والنيترات وهي المواد اللازمة لإجراء عملية التكاثر كما أنها تتحكم في كمية الكلوروفيل الموجودة في الخلية. ويرتبط وجود الدياتومات بتوافر السيليكا حيث تستخدمها في بناء أصدافها. وتُعَدُ الدياتومات أحد أهم النباتات الرئيسية الطافية.



الشكل رقم (٤,٧). نماذج من دياتومات رتبة البنال Order Pennales (عن: Burckle, 1980).

obeikandl.com

تعيش معظم الدياتومات ذات الأصداف الريشية على قيعان البحار والمحيطات حيث إن إفرازاتها المخاطية تساعدها على انزلاق الصدفة فوق الرسوبيات القاعية. أما الدياتومات المركزية فتعيش طافية في الطبقات العليا لمياه البحار والمحيطات لأنها تقطن في المناطق تحت القطبية والمعتدلة وتتزود في بعض الأحيان بأشواك وقطرات من الدهون قليلة الكثافة للمساعدة على الطفو. وبالإضافة إلى انتشار الدياتومات في البيئات البحرية إلا أن هناك بعض الدياتومات - خاصة الريشية منها - تنتشر أيضاً في بيئات أخرى مثل البرك والبحيرات والأنهار العذبة والمستنقعات والبحيرات الشاطئية كما توجد أيضاً في التربة الرطبة أو تتعلق بفروع الأشجار.

تزدهر الدياتومات في أواخر فصل الصيف وخلال فصل الربيع، نظراً لتوافر الظروف المناسبة من حيث الحرارة والملوحة والحموضة وكمية الأكسجين وغيرها من الظروف التي تساعد على عملية التكاثر الكثيف للدياتومات، حتى أن عددها قد يصل إلى ١٠٠٠ مليون صدفة في المتر المكعب الواحد من الماء. كما تزدهر الدياتومات أيضاً في مناطق التيارات الصاعدة في المياه البحرية التي تتميز بالتجديد المستمر للمحتوى الغذائي والمعدني - خاصة السيليكا والفوسفور والنترات (Brasier, 1980).

تتجمع الدياتومات فوق قيعان البحار والمحيطات والبحيرات العذبة في شكل رواسب سيليسية لينة تتميز بلونها الأبيض. ولهذه الرواسب الغنية بالدياتومات أهمية اقتصادية كبيرة حيث تستعمل السيليكا المستخرجة منها في تكرير السكر وصناعة العوازل ومعاجين الأسنان والطوب خفيف الوزن وغيرها من الصناعات المهمة.

وتترسب الدياتومات في الوقت الحاضر في المناطق القطبية وتحت القطبية حيث تتميز البيئة بقلة الفتات الأرضي وارتفاع درجة ذوبان كربونات الكالسيوم مما يؤدي لازدهار الدياتومات. كما تترسب رواسب الدياتومات في الأعماق السحيقة في المناطق

الاستوائية في المحيطين الهندي والهادي حيث تتميز هذه الأعماق بغياب الأصداف الكلسية للكائنات الأخرى.

التاريخ الجيولوجي
Geological History

ظهرت الدياتومات ذات الأصداف المركزية في العصر الطباشيري بينما ظهرت الدياتومات الريشية في الباليوسين وزاد انتشارها تدريجياً حتى تجاوز عدد أنواعها أنواع الأصداف المركزية في وقتنا الحاضر.

هناك تطبيقات عديدة للدياتومات المتأحفرة في دراسة البيئة القديمة، ولو أن هناك عدداً من الاعتبارات التي تؤثر على الدلالات البيئية للدياتومات. فكثيراً ما تتعرض الدياتومات للنقل من بيئاتها الأصلية بالتيارات المائية أو الهوائية حيث تترسب في بيئات أخرى مختلفة. كما أن أصداف الدياتومات الميتة تتعرض للذوبان بنسب مختلفة (قد تصل إلى ٨٠٪) مما قد يؤثر على الاستنتاجات البيئية لمجموعة الدياتومات. وبالرغم من هذه المحاذير فقد تم استخدام الدياتومات في استنتاج العديد من الظروف البيئية القديمة مثل درجة الحرارة وذلك من خلال علاقات تربط بين عدد أنواع الدياتومات وعدد أفرادها والظروف البيئية المختلفة. وقد وجد أن حجم صدفة الدياتومات يزيد بوضوح في الفترات الثلجية نتيجة لزيادة التيارات الصاعدة التي تعمل على تجديد المحتوى الغذائي والمعدني للمياه.

لوحـــــــة رقم (٤,١)

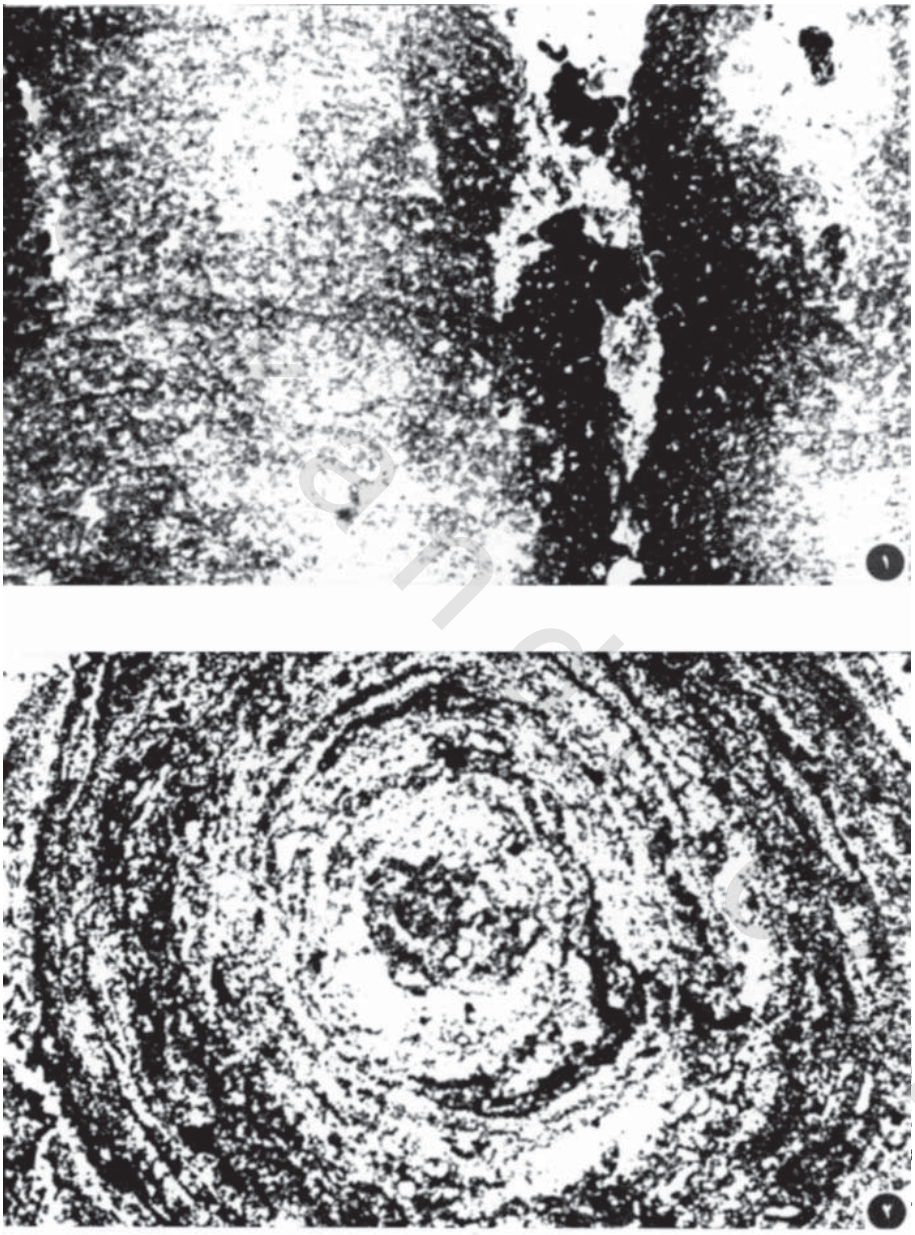
١ - ٢ - بنيات كلسية غير هيكلية Non-skeletal calcareous structures

١ - ستروماتوليت Stromatolites (X240)

٢ - أنكوليت Oncolites (X250)

obeikandl.com

لوحـــــة رقم (٤,١)



لوحـــــــة رقم (٤,٢)

١ إلى ٦ - بنيات كلسية هيكلية Skeletal calcareous structures

١ - ٤ - تداخل بعض الحبيبات العضوية فى بنية الطحالب الكلسية (X80)

٢ - تداخل رزغات جيرية (ميكريت) فى بنية الطحالب الكلسية (X80)

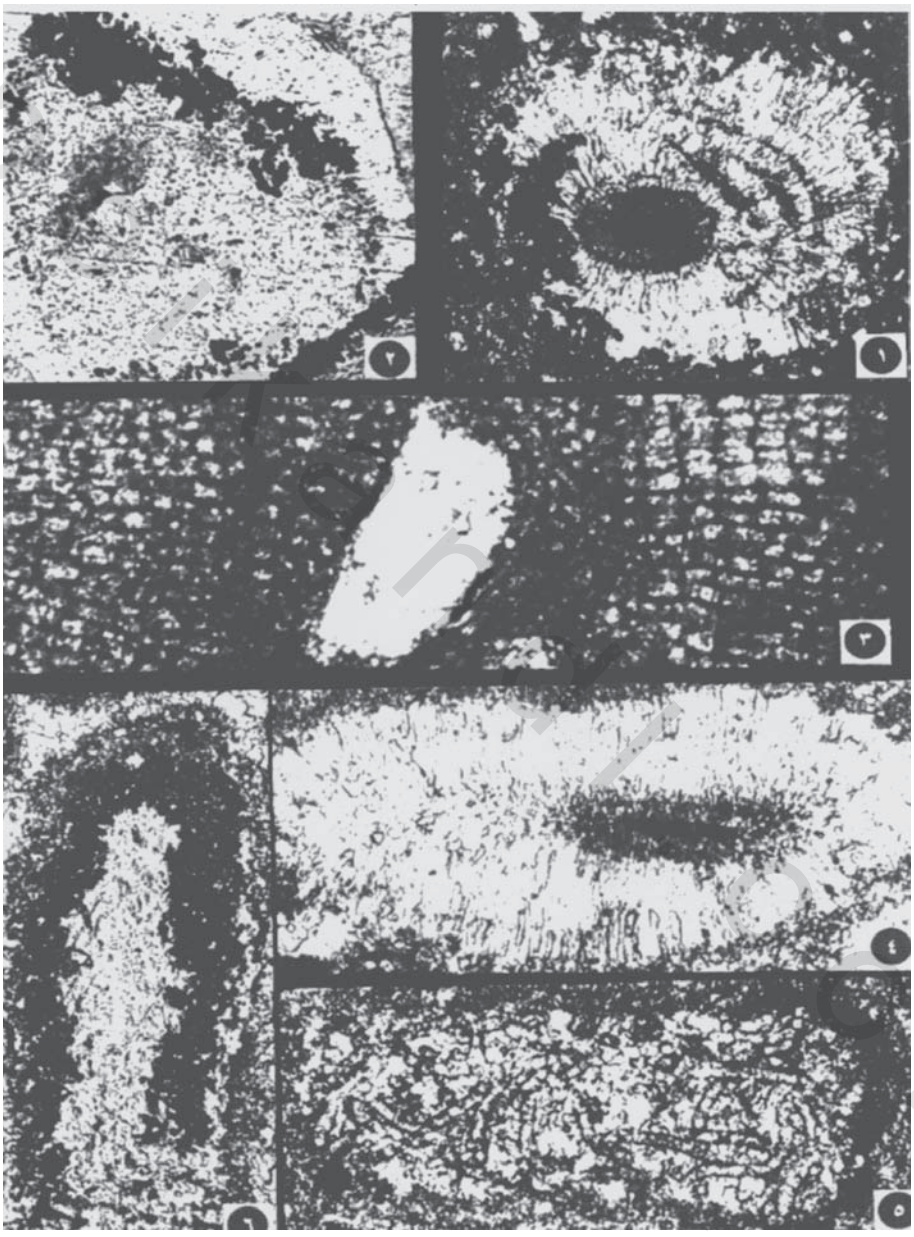
٣ - تداخل بعض حبيبات الحجر الجيرى فى بنية الطحالب الكلسية (X250)

٥ - تداخل بعض الحبيبات العضوية فى بنية الطحالب الكلسية الأنبوبية (X80)

٦ - تداخل بعض فتاتيات المسرجيات فى بنية الطحالب الكلسية (X80)

oberkandl.com

لوحـــــة رقم (٤,٢)



لوحـــــــة رقم (٤,٣)

١ إلى ٤ - طحالب خضراء مزرقة Blue-Green Algae

١ - أورتونيلا *Ortonella* sp. (X7)

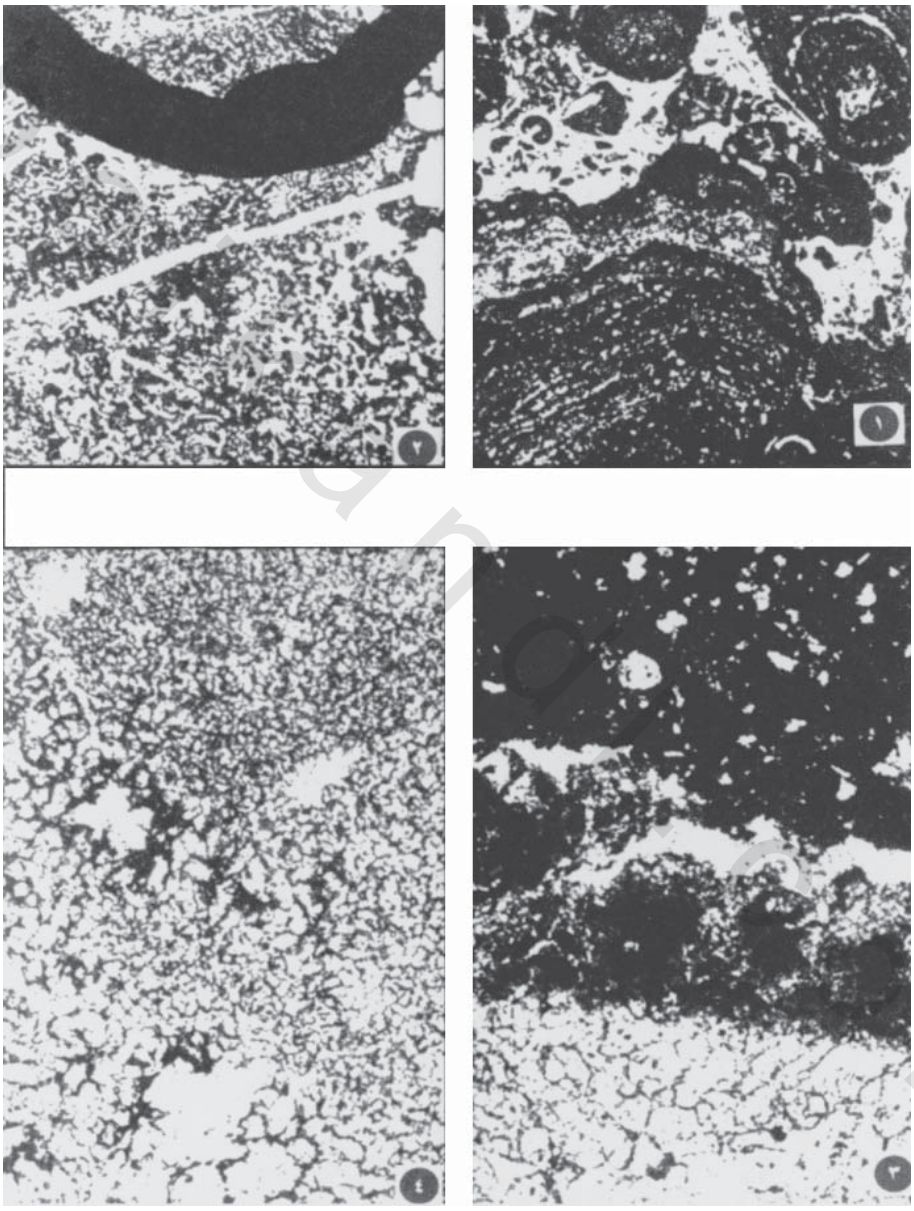
٢ - جيرفانيلا *Girvanella* sp. (X12)

٣ - جيرفانيلا *Girvanella* sp. (X33)

٤ - جيرفانيلا *Girvanella* sp. (X90)

obeikandl.com

لوحـــــــة رقم (٤,٣)



لوحـــــــة رقم (٤،٤)

١ - طحالب خضراء متكلسة Calcareous Green Algae

١ - هالي ميدا *Halimeda* sp. (X2100)

٢ - طحالب حمراء متكلسة Calcareous Red Algae

٢ - ليثوفايلم *Lithophyllum* sp. (X1350)

obeikandl.com

لوحـــــة رقم (٤،٤)

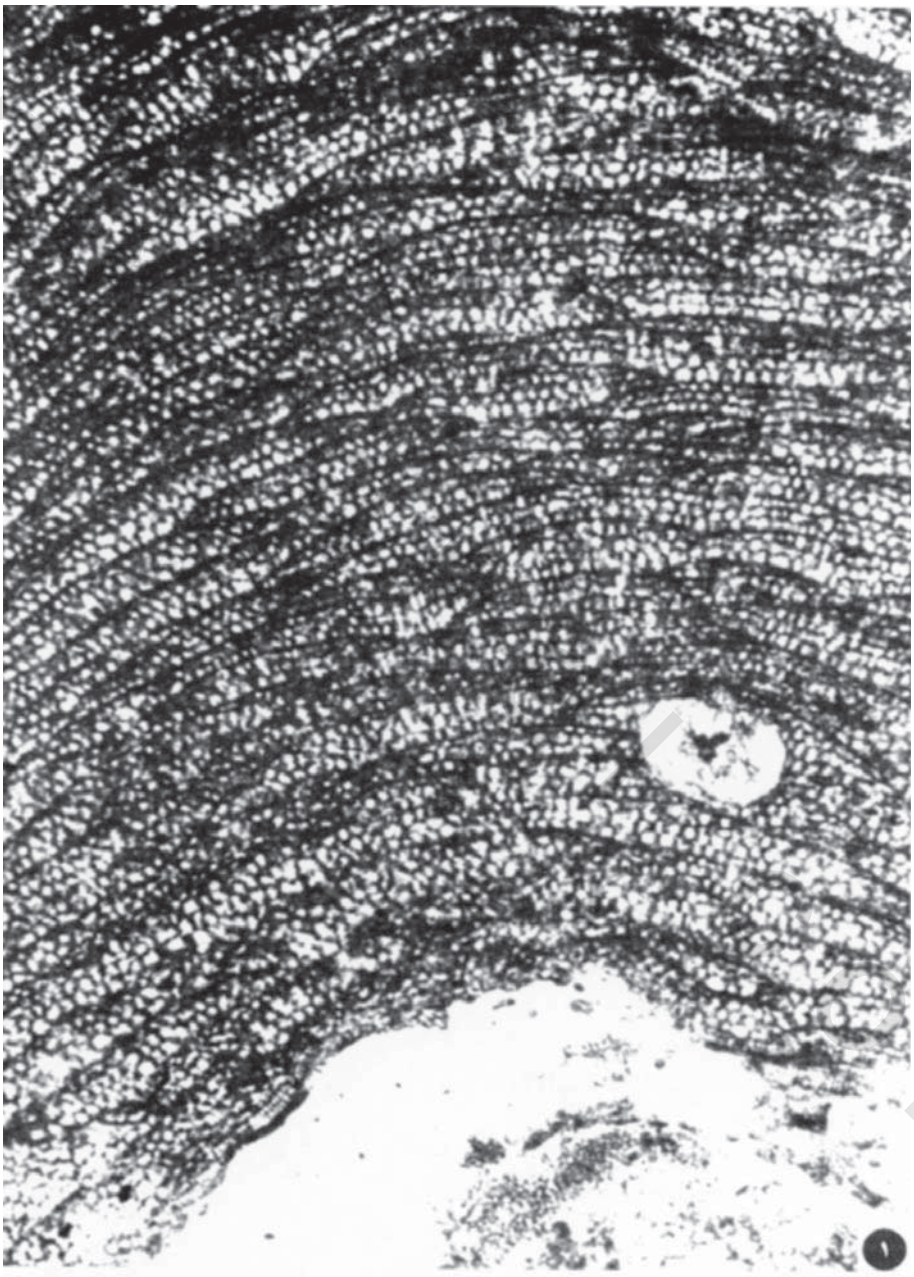
لوحـــــــة رقم (٤,٥)

١ - طحالب حمراء متكلسة Calcareous Red Algae

١ - تحت عائلة : كورالينويدا Subfamily: Corallinoideae (X52)

obeikandl.com

لوحـــــة رقم (٤,٥)



لوحـــــــة رقم (٤,٦)

١ إلى ٥ - دياتومات ذات أشكال ريشية (Pennate shapes)

رتبة : البنال Order: PENNALES

١ - نيتزشيا *Nitzschia* sp. (X1000)

٢ - نيتزشيا مارينا *Nitzschia marina* Grunow, 1884(X1000)

٣ - بسيودويونوتيا دوليوليوس

Pseudoeunotia doliolus Wallich, 1860 (X1000)

٤ - نيتزشيا بيسكابيتاتا

Nitzschia bicapitata Cleve, 1900 (X1000)

٥ - ريزوسولينيا بيرجوني

Rhizosolenia bergonii Peragallo, 1892(X1000)

٦ إلى ٩ - دياتومات ذات أشكال مركزية (Centric shapes)

رتبة : السنترال Order: CENTRALES

٦ - كوسينوديسكيوس نوديوليفير

Coscinodiscus nodulifer Schmidt, 1937(X1000)

٧ - تريسيراتيم سيناموميم

Triceratium cinnamomeum Greville, 1866 (X1000)

٨ - روبيريا تيسيلاتا

Roperia tesselata Mann, 1922 (X1000)

٩ - هيميديسكيوس كينيوفورميس

Hemidiscus cuneiformis Wallich,1860 (X1000)

obeikandl.com

لوحـــــة رقم (٤,٦)