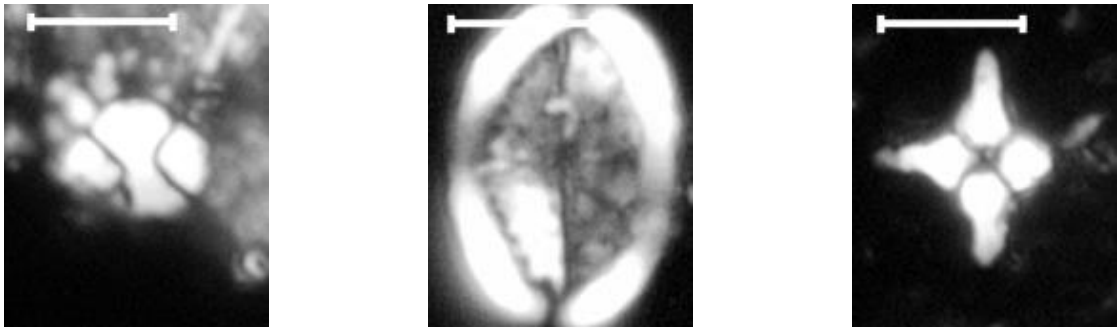
ثانياً وحيدات الخلية أو البروتيسيت Protista

تعتبر وحيدات الخلية أبسط المتعضيات بنية، تتألف أجسامها من خلية واحدة تحاط في بعض مجموعاتها بهيكل خارجي صلب، يمكن أن يحفظ على شكل مستحاثات. وتضم مجموعات مثل السوطيات، الكوكوليتات، المشطورات، الشعاعيات والمنخربات.

1- الكوكوليت Coccolithphorides:

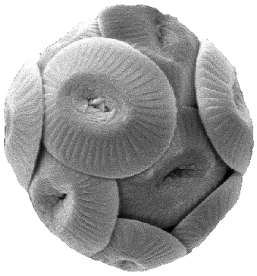
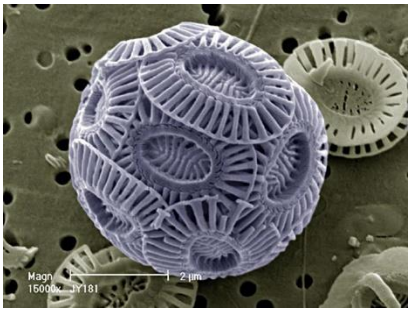
عبارة عن وحيدات خلية نباتية تتبع الطحلبيات أو الاشنيات ويتراوح حجمها من 10–50 ميكرون. وقد تم الاكتشاف العديد من هذه الكوكوليتات والتي تعود إلى حقب الميزوزوي وحقب السينوزوي، وذلك باستخدام المجهر الالكتروني. بعضهم يُرجع هذه الأنماط إلى زمرة الاشنيات السوطية نظراً لاحتوائها على سياط تساعدها في السباحة.

- **الأقسام المتفلزة**: قشور دائرية مؤلفة من عناصر كلسية (كوكوليتات) والتي تكون شائعة في الصخور الرسوبية، وتدرس بنيتها عادة بالمجهر الالكتروني. ويمكن دراستها بالمجهر العادي (بالضوء العادي والاستقاطابي "المنتشر") باستخدام العدسة 100 Oil Immersion (العدسة ذات التكبير 100 الغاطسة وباستخدام زيت الأرز كوسط مادي بين العدسة والمحضر).



بعض أشكال مستحاثات النانوفوسيل بالمجهر الاستقطابي (المقياس الخطي حوالي 10 ميكرون)

(الكونياسان والسانتونيان في السلسلة التدمرية، سورية)

بعض أشكال مستحاثات النانوفوسيل بالمجهر الالكتروني

- **مينرالوجيتها وأهميتها البتروغرافية والترسيبية**:

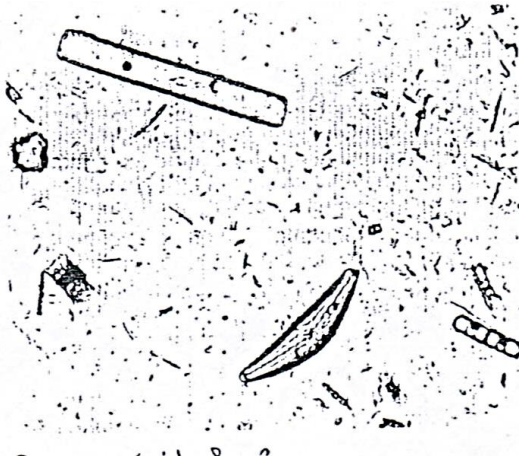
مينرالوجيتها من الكالسيت. تسود هذه العضويات في الصخور الحوارية (تشكل 90٪ من الصخر) وفي الكلس الناعم أو الميكريتي وتكون أيضاً ضمن الطور الكلسي لبعض الصخور المارلية ويمكن أن تتأبجن الكوكوليت أحياناً بالسيليس أو الفوسفات.

يمكن للكوكوليت أن تعتبر عضويات سحنة: عضويات بيلاجية بحرية عادة، لمياه حارة أو معتدلة، وبعضها يوجد في المياه البحرية الباردة. ويمكن أن توجد في العقد الفوسفاتية كفوسفات قاعدة السنونيان (قاعدة الكونياسيان) في سلسلة جبل حلب (جبل الأكراد)، وفي منطقة خان شيخون.

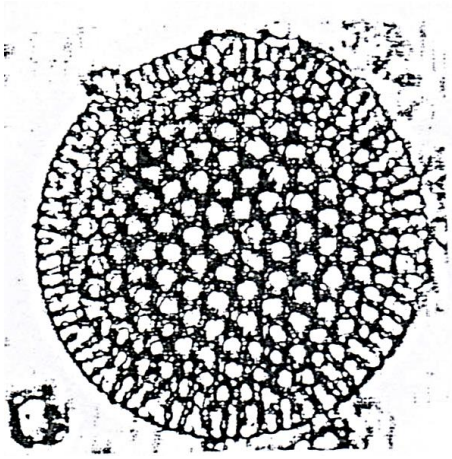
2- الدياتومي أو المشطورات Diatomite:

وهي اشنيات سيليسية من وحيدات الخلية، ذات غلاف سيليسي مؤلف من مصراعين متراكبين بحجوم يتراوح من 10-800 ميكرون، ويتمتعان بتزيينات جميلة دقيقة.

- **مينرالوجيتها**: الهيكل مؤلف من الأوبال والبيكتوز (وهي مادة عضوية تزول لاحقاً).
- **البنية المجهرية والاستحاثة**: إن السيليس غير المبلور الذي يشكل هيكلها حساس تجاه الايونات الموجودة في المحاليل. يمكن للدياتومي أن يحصل لها إعادة تبلور إلى سيليس ليفي، أو أن تتحول إلى كالسيت أو تتفسفت أو تتأبجن إلى بيريت. الدياتومي نادرة الوجود في الحوار، ويمكن أن تغزر في الصوان مترافقة مع الشعاعيات والأشواك الاسفنجية السيليسية.



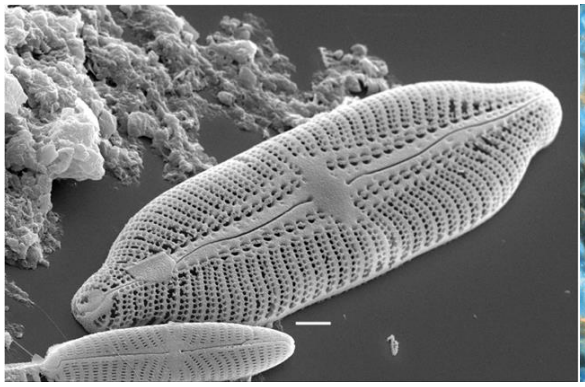
دياتومي ذات تناظر ثنائي جانبي لمياه عذبة حالية

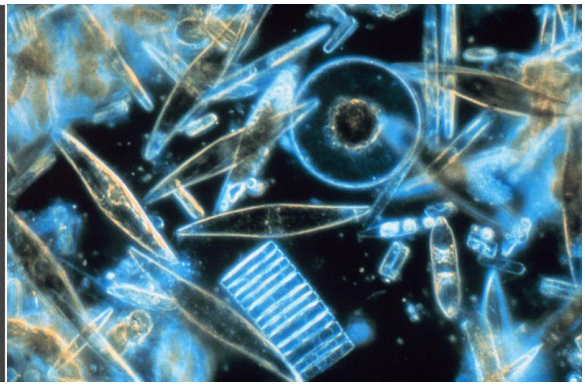


دياتومي ممركزة البنية المجهرية بحرية من الميوسين

صخر دياتوميت ذو منشأ بحيري عذب

تجمع من الدياتوميت ذات التناظر الجانبي مع بلورات ناعمة من الكالسيت السباريتي





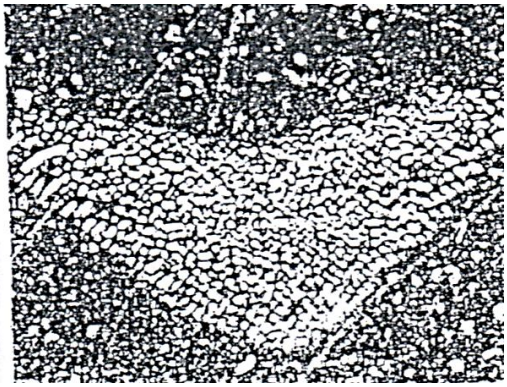
الأشكال المختلفة للدياتوميت

- **الأهمية**:

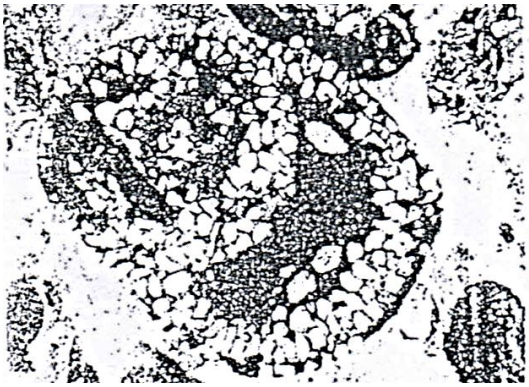
  - إن الدياتومي ذات التناظر الشعاعي المركزي هي بلانكتونية بحرية خاصة. أما الدياتومي ذات التناظر الثنائي الجانب فهي في نفس الوقت يمكن أن تنتشر في المياه البحرية وبالمياه العذبة وهي خاصة قاعية.
  - للدياتومي أهمية ليتوجينينتكية رئيسية فهي تشكل
    - زمر رسوبية هامة (وحول ذات دياتومي).
    - توجد في العديد من الحالات بالترافق مع الرماد البركاني، حيث أن فساد الأخير يشكل البنتونيت محرراً السيليس الذي يستخدمه الدياتومي لبناء هياكلها.
    - يمكن أن تهدم سيليكات الدياتومي، مكونة صخور ذات دياتومي محتوية على أسماك مستحاثة.
    - تجمع هياكل هذه العضويات عموماً تشكل صخر الدياتوميت (حجر طرابلس) الذي يتميز بلونه الأبيض وخفة وسهولة تفتته.

3- المنخربات **Foraminifera**:

- **الميزالوجي الأصلية والبنية المجهرية**: يميز أنواع مختلفة للهيكل:
  - **هيكل كيتني**: مادة عضوية تزول مع الوقت
  - **هيكل تجمعي**: يتم تجميع العناصر من الوسط التي تعيش به المنخربة وتكون هذه العناصر متنوعة، فقد تكون كوارتزية أو من فلزات أخرى، أو من حطام وبقايا عضوية، يجمعها الحيوان بملاط خاص يفرزه. وتوزع هذه العناصر يمكن أن يكون نظامياً والملاط وتنوع التركيب. ومثال هذه المنخربات: Oritolinidae, Lituolidae & Textularidae.



أوربيتولين (منخربة تجمعية الهيكل)



منخربة تجمعية الهيكل (تظهر العديد من حبات الكوارتز المجهرية في بنية هيكلها

  - هيكل كلسي (من الكالسيت): ويميز ضمنه أنواع مختلفة:
    - هيكل حبيبي مجهري أو ليفي كاذب مثل Fusulinidae، تتوضع به حبيبات صغيرة جداً من الكالسيت أقل من 5 ميكرون.
    - هيكل بورسلاني (غير مثقب) مثل Miliolidae, Alveolinidae & Nubeoulariidae حيث يظهر بلون أبيض أو حليبي بالضوء المنعكس، غامق أو أسود بالضوء النافذ (المتخلل).

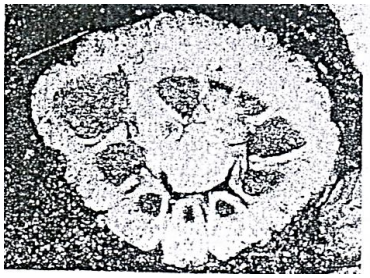
وبالضوء الاستقطابي رمادي مصفر. الدياجينيز يؤدي غالباً إلى مكرتة الهيكل.

هيكل بروسلاني للميلولينا مع تطور متباين للهيكل

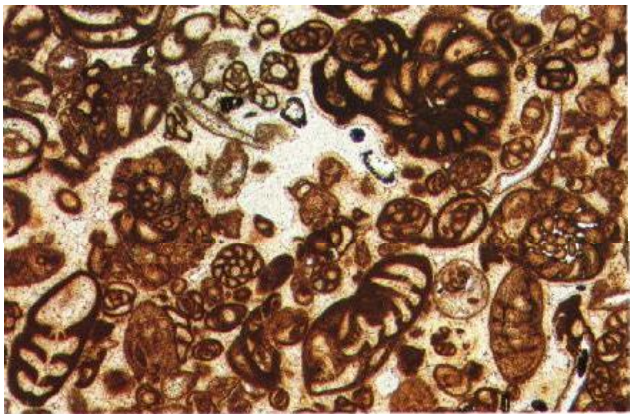
فوزلينا من المنخربات الكلسية الحبيبية المجهرية الناعمة وليفية كاذبة

- هيكل زجاجي، شفاف (Hyalin) مثل Rotalidae, Nummlitidae, Globigerinidae & Orbitoididae وهي ذات مظهر فاتح وشفاف بالضوء النافذ، ويمكن تمييز نوعين من البنية المجهرية:
  - هيكل زجاجي حبيبي: ذو توضع وتراكب لحبيبات الكالسيت بحجم 5–10 ميكرون المتلاصقة.
  - هيكل زجاجي ليفي شعاعي: حيث تكون بلورات الكالسيت ذات محور عمودي على سطح الهيكل أو القوقعة، وهكذا بالضوء الاستقطابي يلاحظ الصليب الأسود الكاذب، وحلقات ملونة مركزة (بنية سيفروليتية).

منخربات ذات هيكل شفاف مثقب (نموليت)

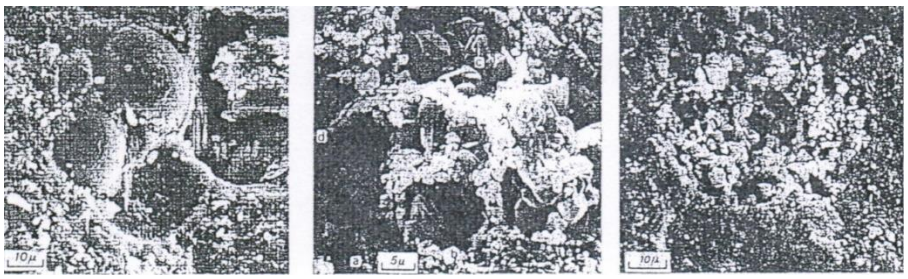


منخربات ذات هيكل شفاف مثقب، الكالسيت الليفي مخترق بأقنية دقيقة

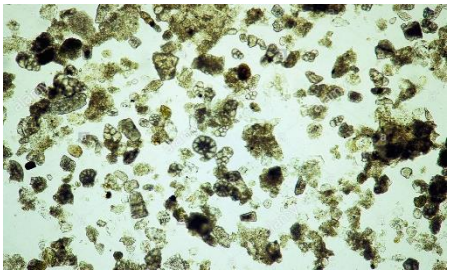


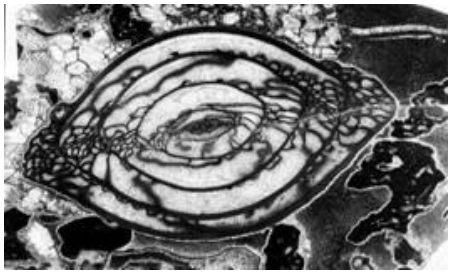
مقاطع مختلفة الاتجاهات لعدد كبير من هياكل المنخربات

- هيكل أراغونيتي: وهو يميز بعض المنخربات الزجاجية، الليفية الشعاعية وهذا النوع من الهياكل نادر.
- هيكل سيليسي: وهو ناتج عن استبدال الكالسيت بالسيليس.

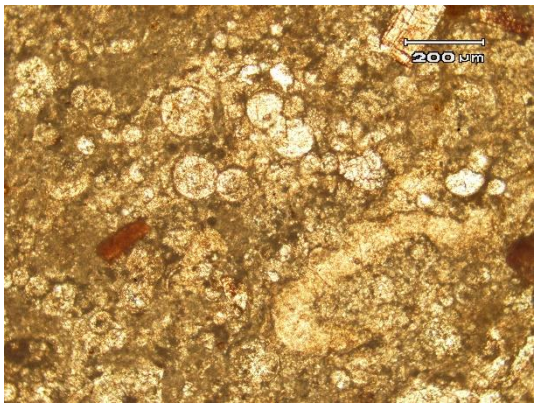


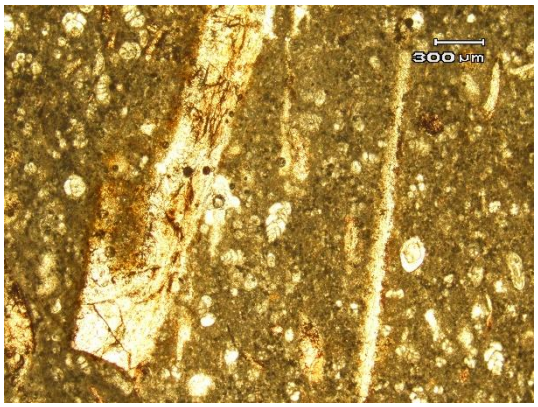
منخربات بلانكتونية مرئية بالمجهر الالكتروني، تظهر نماذج مختلفة لتطور هياكلها وإملاء حجراتها الدقيقة





صور مجهرية لمقاطع مختلفة في هياكل المنخربات بالضوء العادي





صور مجهرية لمقاطع مختلفة في هياكل المنخربات بالضوء العادي

- **الاستحاثة**: إن التطور الدياجينيتيكي الذي يصيب المنخريات، يمكن أن يزيل بنية هيكلها ووضوح شكلها وبنيتها ونخص بالذكر حادثة إعادة التبلور الذي يمكن أن يصيبها حيث يمكن أن تؤدي هذه الحادثة إلى:
  - تشكيل كالسيت حبيبي مجهري ثانوي.
  - محو كلي أو جزئي لبنية وشكل المنخربة خاصة إذا كانت حجراتها قد عانت من املاء رسوبي، وفي هذه الحالة يمكن أن يصبح شكل المنخربات كبقايا مبلورة غير واضحة الأصل، خاصة إذا كان الصخر ككل قد عانى من حادثة إعادة التبلور (وهي الحادثة الأكثر شيوعاً في الاستحاثة).
  - يمكن للمنخربات أن تقاوم نسبياً حادثة السيلسة، حيث يلاحظ منخربات كلسية ضمن العوارض السيليسية في الصخور الكربوناتية وعندما تتسيلس فإن شكل الحجيرات قد يساعد على تمييزها.

- إذا طرأت الأبجنة (فلزات الأبجنة هي السيلس، الحديد، الغلوكونيت، الفوسفات) على الهيكل نفسه، ففي هذه الحالة تفقد تدريجياً بنيته ويمكن أن يتأبجن إلى هيماتيت، بيريت، غلوكوني، فوسفات.

- **الأهمية:**

  - **الأهمية الإيكولوجية:**

    - إن الأهمية في تحديد طبيعة الوسط الرسوبي (وسط بيلاجي، قاعي، ضحل، حار، بادر ... الخ). من خلال المنخربات هي كبيرة جداً، وتلعب دوراً هاماً جداً في الدراسات الترسيبية والباليوجغرافية.
    - من المعلوم أن المخربات الحالية تنتشر في معظم بحار العالم، اعتباراً من المناطق القطبية وحتى الاستوائية، وكذلك في الأوساط الشاطئية الهامشية المتعلقة بها (بحيرات مالحة، مستنقعات مالحة شاطئية، مصبات الأنهار الواسعة، الدلتات، القنوات الموجودة في مناطق المد والجزر .... الخ.
    - معظم هذه العضويات تكيف مع حياة قاعية حرة أو مثبتة (أكثر من 98٪ من الأنواع) بينما الأشكال البلانكتونية تنتسب إلى عدد محدود من الأنواع والأجناس، ويمكن أن تكون رقمياً كبيرة العدد جداً.
    - **من الضروري الإشارة إلى أنه يوجد عدد من العوامل الرئيسة التي تلعب دوراً في انتشار المنخربات وتوزعها، نذكر منها:**
      - **الحرارة:** وهذا العامل يرتبط بالعمق، فيما عدا الطبقة السطحية التي لا تتجاوز 100م وحيث يكون الدور أكثر للعوامل المناخية، وفي المناطق العميق تميل الحرارة للثبات. وبالرغم من ذلك تمكن الباحثون بمقارنة العضويات التي تعيش بأعماق متساوية، من تمييز أنواع تنتشر في المياه الدافئة (الحارة) وأخرى بالمياه الباردة. فالأولى تتميز بانتشار مختلف الأنواع ذات الهيكل

الكلسي، وحتى بعض الأجناس يميز المياه الحارة الاستوائية وتحت الاستوائية، ولا تظهر في المناطق المدارية أو المعتدلة، مثل Sortitidae, Alveolinidae & Cymbalopridae.

وعلى العكس من ذلك قالأشكال الأولية أو البدائية من المنخربات ذات الهيكل التجمع تميز غالباً المياه الباردة (بحر البلطيق). والحرارة لها دور رئيسي أيضاً في سائر أتنواع المنخربات البلانكتونية وتوزعها، مثال: هناك أنواع من الغلوبيجيرين مميزة للمياه الباردة *G. paohyderma*، وأخرى تنتشر في المياه الحارة فقط *G. sacoulifera*.

- **العمق**: يرتبط العمق بالحرارة ولكنه يرتبط بعوامل أخرى مثل ضغط الماء، تخلل النور، الغذاء ... الخ. وإن العمق هو العامل الرئيسي الذي يلعب دوراً في توزع هذه العضويات المجهرية. وقد وضع الباحثون نطاقات Zonations للأنواع والأجناس بالعلاقة مع العمق:
  - في المياه والأوساط المعتدلة الشاطئية (البحر المتوسط مثلاً) تكون الـ Elphididae, Rotalidae & Miliolidae هي الأكثر انتشاراً، بينما في الأوساط الاستوائية وتحت الاستوائية تحتل Sortidae المكان الأول تتلوها Disoorbidae & Miliolidae و Elphididae.
  - في المناطق التي تتجاوز عمقها المئة متر، يلاحظ اختفاء أو انحسار في توزع عدد كبير من الأنواع الشاطئية التي تستبدل بزمر من Nodosaridae, Cibicidae, Buliminidae .... الخ.

- مع تزايد العمق يلاحظ أيضاً تزايد في عدد المنخربات البلانكتونية المتوضعة على القاع وتشكل هذه العضويات أكثر من 90٪ من الرسوبات اعتباراً من عمق 2000م. وأما بأعماق أكبر من 4000م ونحو الأعماق السحيقة فإن الأشكال الكلسية تختفي كلياً، ولا يثبت سوى بعض أنواع نادرة ذات هيكل تجمعي. حيث أنه على هذا العمق حوالي 4000م والذي يسمى CCD (Calcite Compensation Depth) وهو سطح تكافؤ الكلس والذي اعتباراً منه ينحل الكلس ويختلف عمق هذا السطح حسب البحار والمحيطات ولكن يتراوح ما بين 3700 – 4000م.

- **الملوحة**: إن معظم المنخربات تتلائم مع التركيز الملحي العادي في مياه البحر، ولا تستطيع الثبات والبقاء في الأوساط التي تكون بها الملوحة أقل أو أكبر. وفي الحقيقة فالأشكال التي تتلائم مع الملوحة المتنوعة هي قليلة جداً، وتنتشر في الأوساط الشاطئية الهامشية. وعامل الملوحة له تأثير واضح جداً على المنخربات، حيث كلما كان تركيز الملح في الوسط الرسوبي البحري متغيراً، كلما كان عدد الأنواع أقل. وفي الأوساط التي تكون ممدة جداً وكذلك في الأوساط ذات التركيز المرتفع للملوحة تكون المنخربات بها متماثلة وهي ممثلة بتلك الزمرة الصغيرة الأشكال، الشائعة في معظم الأوساط الشاطئية الهامشية. ونظراً لوفرة انتشارها في تلك الأوساط فهي تعتبر مميزة لها ومفيدة في الدراسات الباليوترسيبية. ولذلك في الوسط الشاطئي يمكن تمييز 3 مناطق:

- نطاق تحت شاطئي Subtidal وهو مغمور باستمرار بالمياه (مثل الخليج العربي)
- نطاق شاطئي Intertidal وهو نطاق المد والجزر أي الذي يتكشف بالجزر ويتغطى بالمد.
- نطاق فوق شاطئي Supratidal وهو نطاق الذي يعلو منطقة المد والجزر ولا يتغطى بالمياه إلا بحوادث المد العالي، ويمكن أن يحصل فيه حوادث تبخر لأنه ينحسر عنه الماء لذلك يتبخر ويلاحظ فيه فلزات تبخريه.

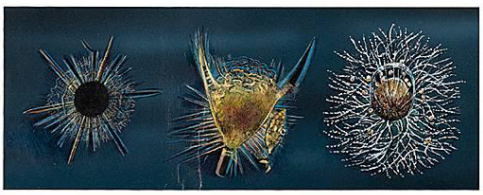
- عوامل إيكولوجية أخرى:
  - طبيعة القاع: إن توزع أنواع وتجمعات مختلفة للمنخربات تتبع طبيعة الرسوبات، ففي رسوبات المناطق الشاطئية النموذجية، يلاحظ مثلاً بعض أنواع الـ Miliolidae تنتشر بوفرة في السحنات الرملية والرملية الوحلية، في حين تكون نادرة أو غائبة كلياً في الوحول المترسبة في نفس العمق.
  - الغذاء: تتغذى المنخربات بالدياتومي وبأشنيات أخرى وبالأبواغ والسوطيات .... الخ. وتنتشر الدياتومي بوفرة في الوحول ذات المنخربات، إلا أن وفرة هذه العناصر الغذائية للمنخربات ترتبط بعوامل وشروط فيزيائية كيميائية للوسط المحيط.
  - درجة العكر والاضطراب: التيارات، نسبة الأكسجين المنحل والكربونات والأملاح المختلفة والنور ودرجة الـ pH كل ذلك يلعب دوراً في تويع وانتشار المنخربات.

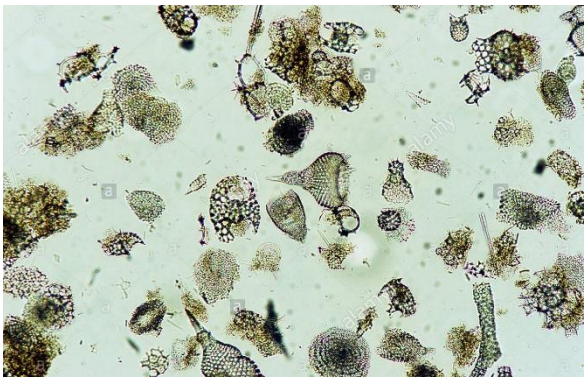
ومن الضروري الإشارة على أن هذه العوامل ترتبط ببعضها بشكل أو بآخر، وتؤثر بشكل مباشر أو غير مباشر على المنخربات وتوزعها مما يجعل من العسير أن نضع تفسيرات قاطعة لنتائج الدراسات أحياناً، لذا يجب أن تؤخذ كافة نتائج الدراسة بعين الاعتبار لتحديد الإطار الترسيبي والباليوجغرافي بأقرب ما يكون إلى شكله الصحيح.

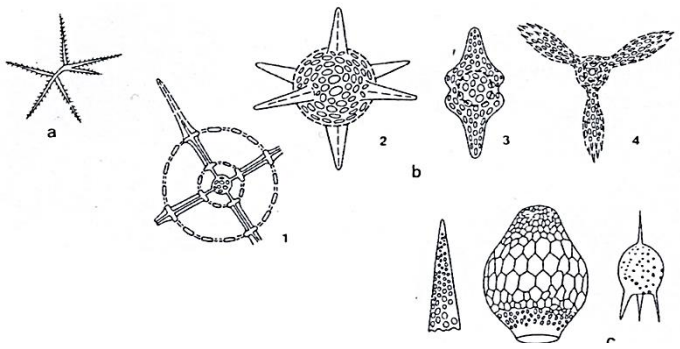
- **الأهمية الليتوجينيتيكية:** تعتبر الأهمية الليتوجينيتيكية مهمة جداً للمنخربات:
  - تلعب المنخربات دوراً كبيراً في تشكل العديد من الصخور والزمر الرسوبية منذ البرمي–كربوني: كلس ذو فوزولينا Fusulines، كلس ذو أوربيتولين Orbitolines، كبس ذو ميلولينا Milioles، كلس ذو نموليت Nummulites ..... الخ.
  - المنخربات المرصعة كقشرة أو المغلقة في عدة مجموعات من المنخربات حيث تعرف أشكال تعيش مثبتة على ركيزة وتتكاثر بشدة، مشكلة أجسام رسوبية مبنية، ومثال هذه المنخربات مجموعة الـ Nubeoularies، حيث تشترك مع الطحالب والديدان، أو أن تشكل بيوضاً كلسية كاذبة.
  - إن الجزئيات والحبات الناعمة الرسوبية التي تشكل هيكل المنخربات التجمعية، تعطينا فكرة عن طبيعة القاع في وقت نموها وتكاثرها (مثال الأوساط المختلفة لحياة الأوربيتولين من كلسية، وكلسية رملية ..... الخ)

4- الشعاعيات Radiolaria:

- **الأقسام المتفلزة**: قوقعة سيليسية مثقبة، ذات أشكال متنوعة جداً، ويميز بها ثلاثة زمر رئيسية:
  - سبوميلاريا Spumellaria: تتميز بتناظرها المركزي عموماً، يمكن أن تظهر لها أشواك.
  - نازيلاريا Nasselaria: وهي لا تتمتع بتناظر مركزي وذات قوقعة مفتوحة، ويمكن للهيكل أن تنحصر في أشواك ذات أشكال متنوعة
  - تريفيلاريا Triphylaria: ذات لون بني ناتج عن مركبات يشكلها الحيوان ويطرحها.



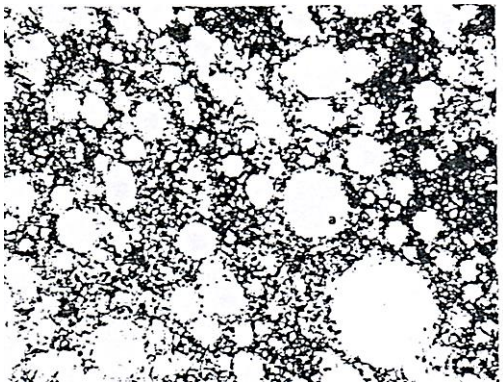




الأشكال المختلفة للشعاعيات

- **المينرالوجي الأصلية للقوقعة**: الأوبال
- **البنية المجهرية**: في الصفائح المجهرية تظهر الراديولاريا كأشكال ذات بنية شبكية إلى حد ما، أو متميزة بأشواكها.
- **الاستحاثة للشعاعيات**: الأوبال يمكن أن يحصل له
  - إعادة تبلور إلى كالسيدوان أو كوارتز.
  - اختفاء القوقعة كلياً نتيجة انحلال الأوبال.
  - املاء التجويف الناتج عن الانحلال أن يعبأ بالمادة العضوية، أو بالفحم أو الكوارتز/ البيريت، أو أكسيد الحديد وأحياناً الكوريت.

راديولير سيليسية (كالسيدوان) ويظهر بعضها أشواك



راديولير ذات بنية مجهرية محفوظة نسبياً (راديولير غضاري سيليسي)

- **الأهمية**:
  - **الأهمية الليتوجينيتيكية**: لعبت الراديولير دوراً مهماً في تكوين العديد من الصخور في العصور الجيولوجية المختلفة.
  - **الأهمية الإيكولوجية**:
    - تعيش الراديولير عموماً في المياه البحرية بخاصة بين 0 و400م.

- إن راديولير النازيلاريا Nasselaria هي عموماً أعمق من راديولير السبوميلاريا Spumellaria. ومع ذلك فإن بعض السبوميلاريا Spumellaria تتواجد بين 400 و500م.
- الأشكال السطحية القليلة العمق تكون عموماً ذات قوقعة خفيفة وناعمة، أم تلك التي تعيش في الأعماق الكبيرة فلها قوقعة سميكة وثقيلة.
- في الطبيعة الحالية، تكّون الراديولير لوحدها تقريباً الوحول الرخولة البنية الحمراء والمعروفة بين 4000–8000م (وسطياً 5000م) ويمكن أن توجد كتجمعات مع الدياتومي والاسفنجيات.
- في الرسوبات القديمة، يمكن للراديولير أن تتواجد مع عناصر عضوية أخرى بيلاجية فقط، وبالتالي يمكن على الأغلب أن تكون الأعماق التي تشكلت بها هذه الرسوبات كبيرة فعلاً.
- من الممكن على العكس من ذلك أن نجد الراديولير مجتمعة مع بقايا عضويات قاعية وأحياناً شاطئية (سحنات نيريتية) أو مع مجلوبات بركانية. وبالتالي فإن التحليل الرسوبي للزمر الرسوبية كاملة يمكن أن يدل على عمق محدود أو ضعيف لهذه الرسوبات. إلا أنه يجب أن لا ننسى أن توضعات من هذا النوع يمكن أن تتواجد في الأعماق الكبيرة، بسبب التيارات التوربيديتية.
- إن اجتماع الراديولير غالباً مع المجلوبات الحطامية، يشرح لنا غالباً منشأ السيليس.