الفصل الثاني عشر

الأوالي الدايتومية The diatoms

- تطور الدايتومات وعلاقتها بالأوالي
- خصائص الأوالي الدايتومية
- التركيب والتشريح
- تقسيم الأوالي الدايتومية
- دورة الحياة والتكاثر
- البيئة والتوزيع
- استخدام الأوالي الدايتومية في التطبيقات الحيوية

الفصل الثاني عشر

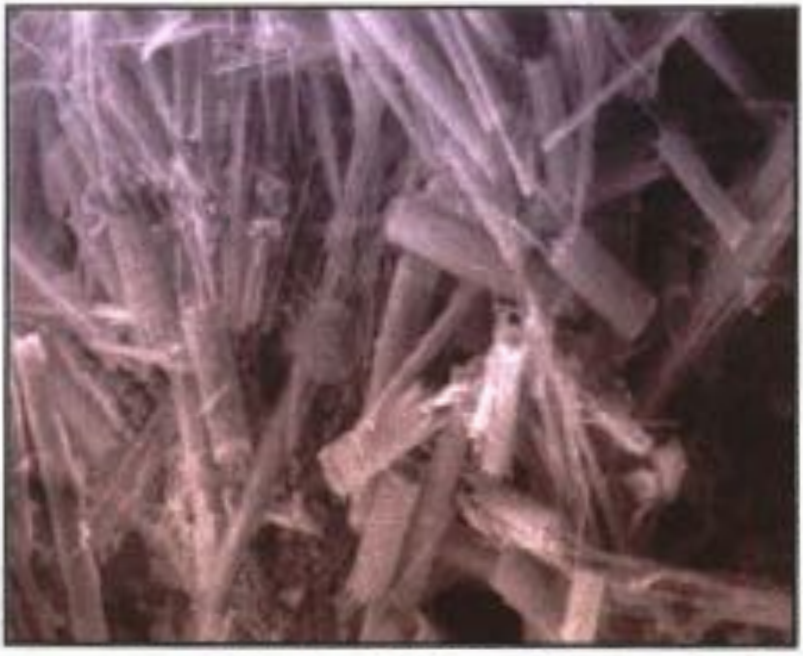
شعبة الهدبيات Phylum Ciliophora

تطور الدايتومات وعلاقتها بالأوالي:

كثيرا ما يشار في دراسات التطور العضوي وسجل الأحفورات إلى أن Heterokont chloroplasts تقود إلى أن الطحالب الحمراء هي أقدم الطحالب، ولكن النجاحات التي قدمتها احفورات الدايتومات جعلت الباحثين ينظرون إلى أنها هي التي تمثل أقدم heterokonts (عندما تدرس أو تبحث على أنها جزء من الطحالب)، لأنها أعطت الكثير في تفسير ما هو غامض في السجل الاحفوري. ومن أولى المعارف المبكرة عن احفورات الدايتومات تعود إلى العصر الجوراسي المبكر حوالي 180 مليون سنة (Kooistra, & Medlin, 1996) وهذا ما أثبته الدراسات الجزيئية وتحليل الرواسب التي تفسر طبيعة الأحداث الجيولوجية لهذه الفترة والتي تشير إلى وجود علاقة بين هذه العضيات والكتلة الحيوية المنقرضة في نهاية العصر البيرمي mass extinction Permianend- منذ حوالي 250 مليون سنة، والتي ظهرت بعدها عديد من المواطن البحرية nichesmarine، وأن الفترة الواقعة بين الفترتين المذكورتين وزمن ظهور احفورات الدايتومات لربما يعود إلى أن الدايتومات عندها لم تكن ذات أغلفة سليكونية unsilicified diatoms وهذا مما أدى إلى أن يكون تطورها خفيٌ أو مختزل evolution cryptic (Scala, et al, 2002, Raven & Waite, 2004,).

ومع بداية ظهور السليكون في البيئة بدأت الدايتومات تلعب دور مهم في السجل الأحفوري من خلال الكم الهائل من الأحفورات الدايتومية القيِّمة التي وجدت عند بدايات العصر الطباشيري المبكر Cretaceousearly وبعض الصخور التي تدعى diatomaceous earth، أو diatomite، أو kieselguhr والتي بدأت الدايتومات تساهم تدريجيا في مكوناتها الداخلية (Kidder & Erwin, 2001, Siever,1991) وتعتقد الدراسات بأن الدايتومات بدأت تحتفظ بأنواعها الحيوية في البيئة الطبيعية عندما بدأت باستعمال السليكون كعنصر من المصادر الطبيعية في بناء أغلفتها قبل حوالي 544 مليون سنه أي في حقبة Phanerozoic، أي الفترة التي يعتقد بأنها تمثل بداية تفاعل الكائنات الدقيقة بشكل بطيء ومنتظم مع السليكون البحري، وفيما بعد ظهر ذلك على الأوالي الشعاعية والاسفنجيات السليكونية siliceous sponges and radiolarians اللاتي يمثلان بدايات تكون

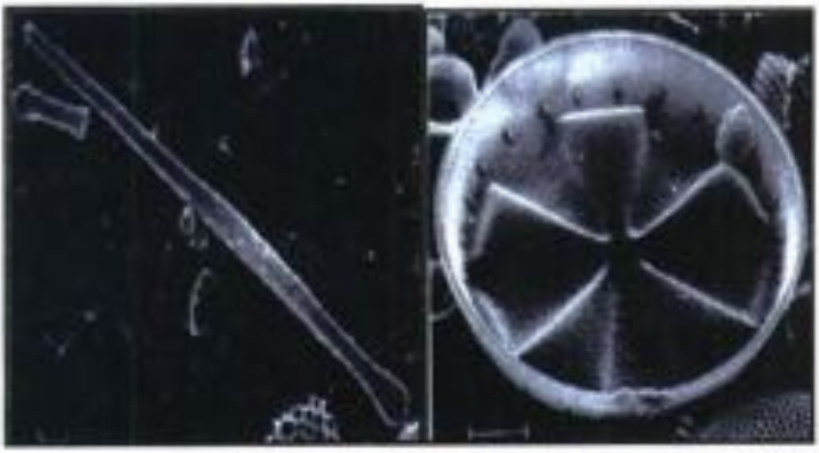
الهوائم الحيوانية zooplankton، وفي هذه الفترة الزمنية يعتقد العلماء أن دورة السليكون قد أصبحت تحت السيطرة والتنظيم، وهذا ما يمكن استنتاجه من خلال القيمة البيئية للدايتومات على بقية الأحياء البحرية بشكل خاص (Grenne) & Slack,2003, Mldonado,1999, Racki & Cordey,1999). بينما يشير الباحث (Dr. Karen Wetmore) إلى أن الدايتومات من الكائنات القديمة جدا، حيث تشير السجلات الأحفورية المتحصل عليها Fossil Record هذه الأحياء بأنها لتلك تاريخ أقدم من عصر Cretaceous ويعتقد بأنها تعود إلى فترة ما قبل العصر الكمبري والترياسي Precambrian and Triassic، ولكن الأحفورات المؤكدة للدايتومات تشير إلى أنها قد كانت موجودة في فترة زمنية أقدم من حقبة الزمن الطباشيري، ولكن بعصر غير معروف بدقة، والسبب في ذلك يعود ربما إلى أن غلاف السليكا الكرستالي قد تحطم تحت تأثير الضغوط الداخلية وعوامل التحلل البيئي المختلفة مما أدى إلى تلف النماذج القديمة من هذه المتحجرات، وكما يظهر من النموذج التالي المبين في الشكل (12-1) المأخوذ من متحف (UCMP) والذي عززته شروحاً مستفيضة في الدراسات التي نشرها الباحث (Wetmore) لسنين عدة.



شكل (12-1) متحجرات قديمة من الدايتومات محطمة الأغلفة.

عن (Bowling Green State University,2007).

بينما تشير دراسات (the Calvert Formation of Maryland.) إلى أن معظم متحجرات الدايتومات المعروفة حاليا مأخوذة من أحفورات وصخور عصري (الأيوسين Eocene الحديث والميوسين Miocene) وكما يبدو من النماذج في الشكل (12-2) والتي تمثل أغلفة دايتومات بحرية تعود للفترتين المذكورتين، ففي الجهة اليسرى غلاف مفرد يعود لأفراد جنس *Actinopychus heliopelta* بينما في الجهة اليمنى فهو لجنس *Sceptroneis caduceus* وكلاهما من المتبقيات البحرية لعصر الميوسين Miocene age.



شكل (12-2) المتبقيات البحرية لجنسين من دايتومات عصر الميوسين.

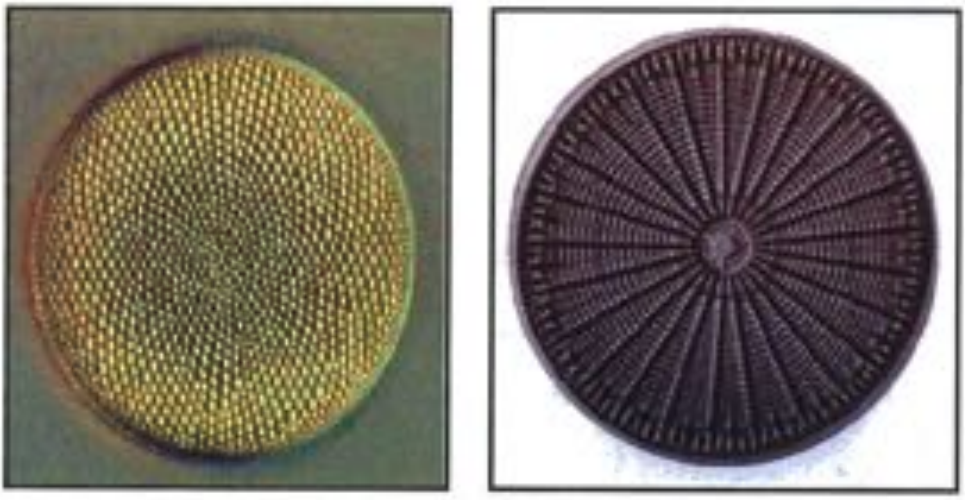
عن(Calvert Formation of Maryland, 2007).

أما العصر الذهبي وإثراء أو غنى الطبيعة بالدايتومات فيعود الفضل فيه كما يعتقد الباحثون إلى ظهور الهيكل الدايتومي الحقيقي والذي يعرف diatomite أو الأرض الدايتومية diatomaceous earth، وهذه الأشكال التي تم وصفها سابقاً تمثل الدايتومات القديمة التي انتهت دورة حياتها وتساقطت على شكل هياكل ميتة إلى قاع البحيرات الكبيرة أو إلى قيعان البحار والمحيطات وتحول قسم منها نتيجة لعمليات التحلل والتمعدن إلى جزء من تكوين وتشكيل صخور مهمة تسمى المواد الطباشيرية البيضاء chalky material والتي تستخدم حاليا في تحضير عديد من المواد والمركبات كمواد التنظيف وأجهزة التلثرة ومعاجين الأسنان والأصباغ وأدوات التشحيم الصلبة وغيرها من الاستخدامات.

وما يدعم هذه الآراء هو ما وجده الباحثون في هذا الميدان عندما تم متابعة حالة التغيرات الفصلية للبحيرات التي تتراكم فيها بقايا الدايتومات على شكل طبقات تسمى الطبقات الحولية annual cycles، بعد أن حصلت فيا عمليات التمعدن التي أشير إليها سابقا، والتي يمكن من خلال متابعة ترتيبها الطبقي ومعرفة التغيرات التي حدثت خلال السنين التي مر بها النظام المائي للبحيرة، وبذلك أمكن الحصول على معلومات مهمة في تفسير التغيرات التي حصلت للبيئة القديمة لهذه البحيرات (Alec, 2008).

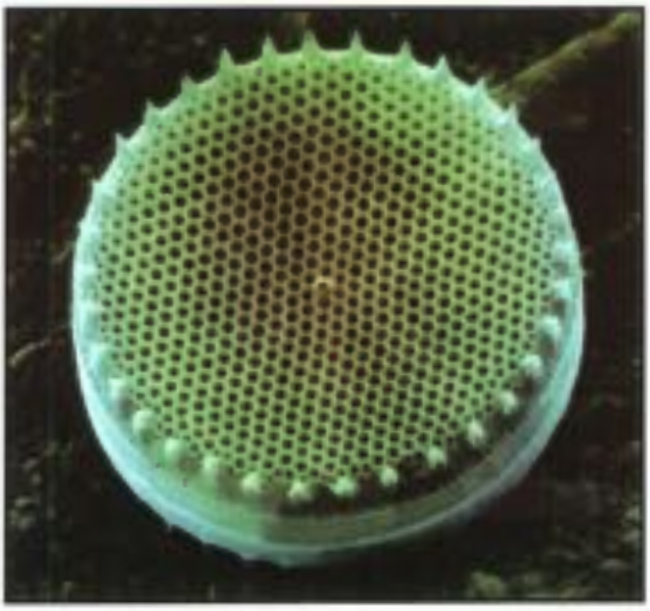
خصائص الأوالي الدايتومية:

وقد أظهرت الدراسات المجهرية بأن الدايتومات عبارة عن كائنات وحيدة الخلية، تحاط هذه الخلية بغلاف أو جدار متلألئ يدعى opaline wall من مادة السليكا المدعمة بالماء silica SiO_2 (and associated water)، وأحياناً يأخذ الغلاف أشكال مزخرفة رائعة المظهر تسمى frustules كما في أفراد جنس *Arachnoidiscus ehrenbergi*.



شكل (12-3) الغلاف المزخرف في أفراد Arachnoidiscus Ehrenbergi.

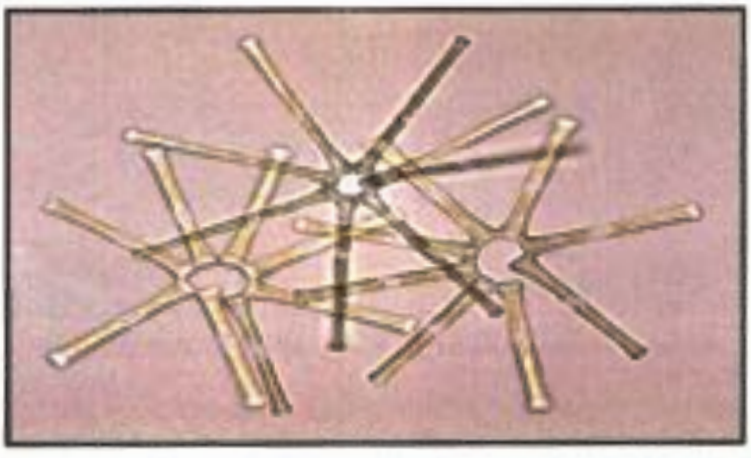
أو يكون الجدار بهيئة تركيب مشابه للصندوق المتكون من مصراعين ينزلق أحدهما على الآخر لكونه اكبر منه نسبيا، وهذا التركيب يسمح بتبادل الجزيئات نتيجة لكثرة الفتحات عليه كما في أفراد جنس *Odontella*.



شكل (12-4) الغلاف الصراعي المنزلق الجزئين وكثير الثقوب في أفراد جنس *Odontella*

عن (2007*Wim van Egmond*)

أو تكون أجناس الأوالي الدايتومية على شكل مستعمرات ترتبط مع بعضها بغشاء لزج غاطي أو هلامي نوعا ما، وكما يبدو في أفراد جنس *Asterionella* 347.



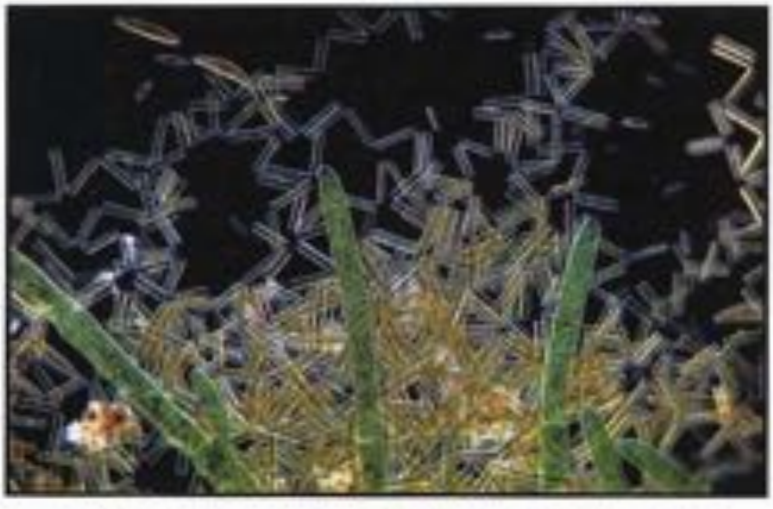
شكل (12-5) مستعمرة دايتومية لجنس *Asterionella* من مجموعة pennate diatoms

*(*Jan Parmentier, 2007)

كما أن بعض الأغلفة فيها تكون ذات شق طولي يصل إلى نهاية الجسم تقريبا يسمح هو الآخر في عملية التبادل بين جسم الخلية والوسط المحيط، وكما في النماذج التالية من الدايتومات الريشية.

شكل (12-6) نماذج من الدايتومات ذات الشق الطولي في الأغلفة الجسمية.

وبعض الدايتومات تترتب بشكل متقاطع أو متعرج zig zag pattern داخل الوسط المائي، ويحصل هذا الترتيب بعد الانقسام التواصل للخلايا الدايتومية وهو يمثل شكل من التجمعات التي تكوّن مستعمرات من عدد كبير من الخلايا لتساعدها على الطفو والحصول على أكبر كمية من الطاقة الضوئية والمغذيات، كما في الشكل (12-7).



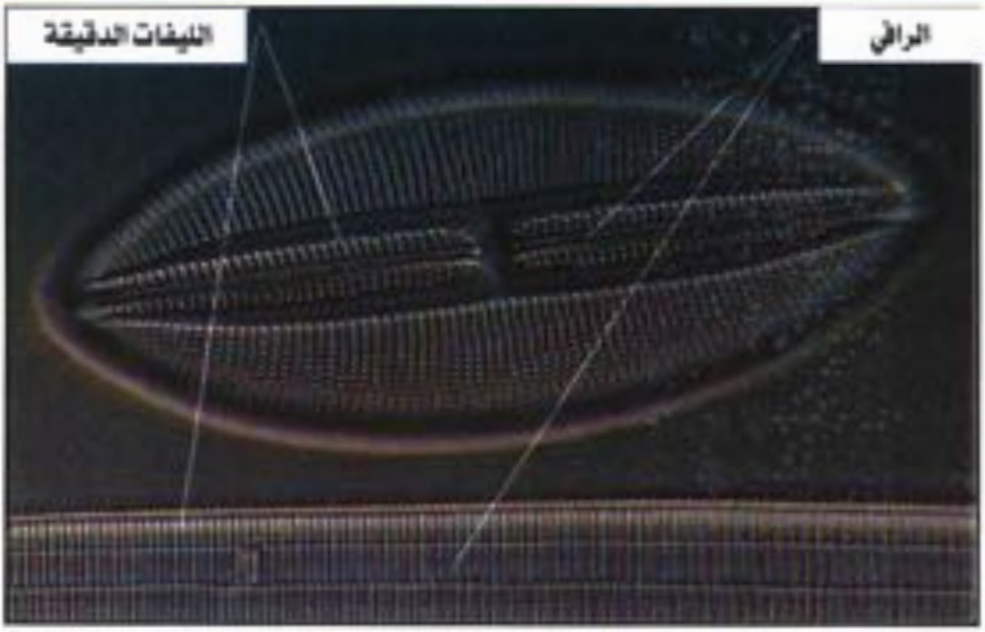
شكل (12-7) التجمع المتعرج للمنتظم zig zag pattern في الدايتومات.

ومن خلال دراسة الخصائص الفسلجية والتطور هذه الكائنات وجد بأنها من الأوالي المثبتة للضوء photosynthetic protista حيث تصنع الغذاء بطريقة البناء الضوئي، وتحتوي على صبغات تشابهة صفراء اللون (yellow pigments) تمثل خليط من الزانثوفيلات والبيتاكاروتين (xanthophylls and beta carotene) مغطاة بطبقة من صبغة الخضور chlorophyll، كما في جنس *Cymatopleura* الذي يمكن ملاحظة الكلوروبلاست الصفراء البنية فيه.

شكل (12-8) دايتوم *Cymatopleura* تظهر فيه الصبغات الصفراء البنية.

والدايتومات فقط تعتبر واحد من بين مجاميع المثبتات الحيوية photosynthetic groups للضوء المرئي في البيئة التي لها هيكل من السليكا ولا تمتلك أسواط. كما بينت بعض الدراسات الحديثة عن الدايتومات بأنها تمتلك نمط خاص من الحركة يسمى بالحركة الدايتومية Diatom's locomotion، وتم معرفة ذلك من خلال متابعة هذه الحركة في بعض أجناس طائفة Pennate diatoms حيث لوحظت بالفحص المجهري بأنها تتزلق بشكل بطيء على المحور الطولي للخلية.

وبالرغم من أن ميكانيكية هذه الحركة غير مفهومة بشكل كامل حتى الوقت الحاضر، لكن ظهور بعض التراكيب الدقيقة البارزة عند منطقة الراقي raphe على شكل ألياف نحيفة تدعى tiny microfibrils جعل الباحثين يعتقدون بأنها هي الوسيلة التي تساعد الدايتومات من الحركة على سطوح الأجسام أو التربة القاعية، والشكل التالي (12-9) يبين موقع الراقي وسط جسم الخلية الدايتومية وموقع التراكيب الخاصة بالحركة منه على امتداد وسط محور الجسم.



شكل (12-9) موقع الراقي raphe وتظهر علية الليفات الدقيقة الخاصة بالحركة، مع مقطع طولي مكبر لهذه الليفات النحيفة tiny microfibrils.

وعند التمعن في هذه الصفة أي صفة الحركة الدايتومية وطبيعة تركيب الجسم والدور الوظيفي الكامل التي تقوم بها الخلية الدايتومية، يجعل منها أقرب في التوصيف والتركيب والخصائص الأخرى إلى أفراد مملكة الأوالي منه من تصنيفها أو وضعها مع المجاميع الحيوية الأخرى وخاصة الطحالب. كما أن دراسة التتابع الجيني Genome sequencing وخاصة في الدايتومات المركزية من جنس *Thalassiosira pseudonana* والذي سوف يتم التطرق إليه عند دراسة تشريح وتركيب الأوالي أظهر بأنها تختلف عن بقية الطحالب. لذلك تعتبر الدايتومات من الأوالي استناداً إلى ما طرحة الباحث هوبتاكر عام 1969 في مفهوم العوالم أو المالك الخمسة للأحياء وكما بينا ذلك في بداية الكتاب.

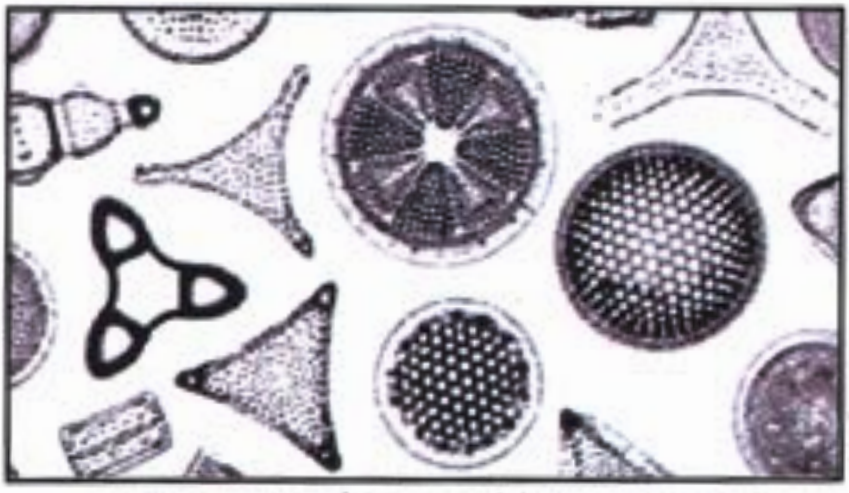
وتظم هذه المجموعة من الأحياء أكثر من 200 جنس من الدايتومات الموجودة حاليا في البيئة تتوزع على حوالي 100,000 نوع موجود فعليا على قيد الحياة. وهي في العادة أحياء مجهرية الحجم ولكن بعضها يصل إلى حوالي 2 ملم طولاً (Round & Crawford, 1990, Canter & Lund, 1995).

كما أن أفراد هذه الشعبة يظهر فيها التباين الواضح في الشكل الخارجي بالإضافة إلى التباين في الحجم، وتحاط بغلاف صلد جدا يتكون من غطائين منفصلين يتشكل معظمه من مادة السليكا

(Treguer, et al, 1995). تمثل هذه الأحياء كائنات مشتركة بين عالم الطحالب والكائنات الأولية، حيث يسميها علماء النبات بالطحالب الدايتومية Diatom algae وتوضع في النظام التصنيفي للطحالب ضمن شعبة الطحالب الذهبية phylum chrysophyta أوتعتبر طائفة كاملة بداخلها تحت تسمية طائفة الطحالب الدايتومية Class Bacillarophyta (ذرب 1990 و Bold 1973). ولكن علماء الأوالي وعلم الأحياء الحديث ووفقا لمفهوم الأوالي يضعونها ضمن مملكة الأوالي protista لأنها عبارة عن كائنات وحيدة الخلية حقيقية النواة بغض النظر عن تركيب وشكل الخلية وحجمها، وتوضع تحت تسمية الأوالي الدايتومية Diatom protista، وانطلاقا من هذا التقسيم الجديد لعالم الأحياء الذي وضعه العالم (هويتكار 1969) وكما بينا سابقا. عليه سنضع الدايتومات كواحدة من مجاميع الأوالي التي يجب أن تدرس وتوضح بشكل جيد من حيث التركيب والتشريح والتكاثر وغيرها من الخصائص التي تربطها بعالم الأوالي.

التركيب والتشريح Diatoms structure and anatomy :

تعتبر الدايتومات كائنات مجهرية organisms microscopic ولكن قسم منها يتجاوز طوله 2 ملم (Round & Crawford 1990). وهي تختلف في الشكل الخارجي وفي طبيعة محور الأغلفة وتنظيم الخيوط السايتوبلازمية والزخرفة الخارجية والتحويرات الظاهرة على غلاف الخلية وغيرها من درجات التباين وكما يظهر في النماذج المبينة في الشكل (12-10) التالي:

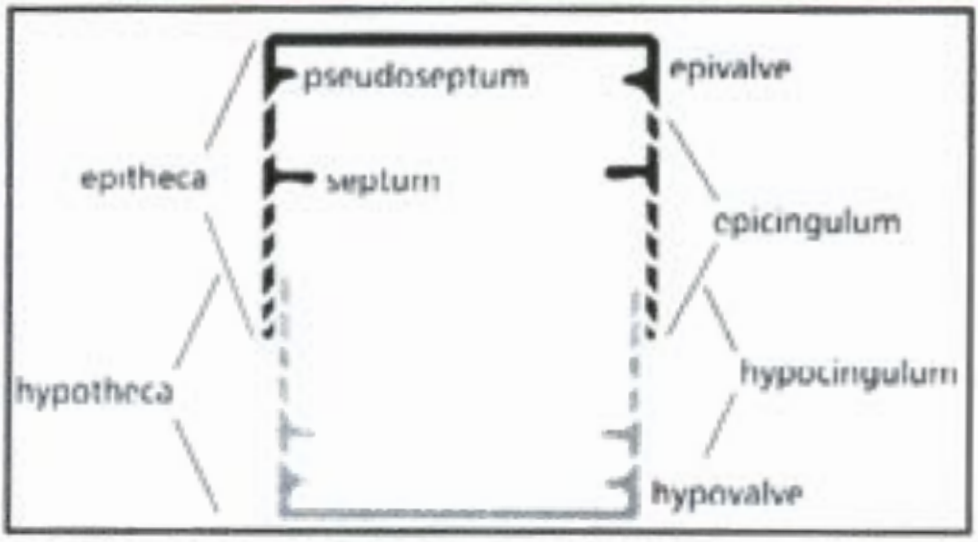


شكل (12-10) التباين في شكل الجسم في أنواع مختلفة من الدايتومات.

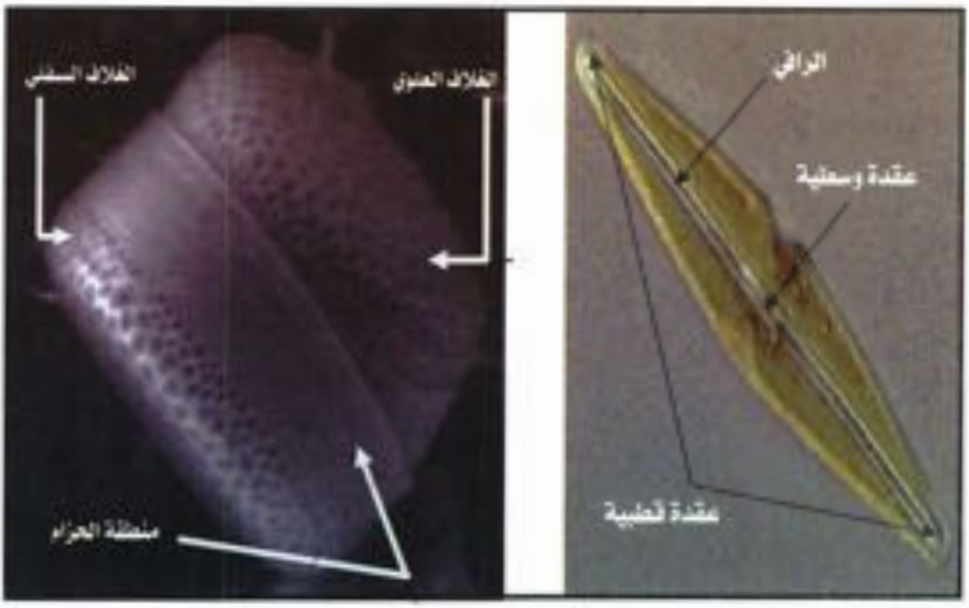
ومما يميز الخلية الدايتومية عن غيرها من الأواني التي تم شرحها في الفصول السابقة هو كون الغلاف فيها يتكون من نصفين متراكبين يتطابقان معا ويسمى النصف الخارجي بالغمد الفوقي epitheca إما النصف الداخلي hypotheaca فيسمى بالغمد التحتي، وهناك صمام يربط النصفين اللذين يتكونان من مادة السليكا عادة ويسمى هذا الشكل النهائي عادة بالمصراع Valve.

وعند فحص الدايتوم تحت المجهر يمكن ملاحظة المصراع بشكل واضح وأيضا ملاحظة الصمام من الأعلى أو الأمام و يسمى Valve View منظر سطحي، أو من أي جهة أخرى ويسمى Girdle View ويسمى منظر جانبي، أما الشق الطولي الذي يظهر وسط جسم الدايتومات والذي يفصل محتويات النصفين العلوي والسفلي عن بعضهما فيدعى بالراقي Raphe أو (الأخدود) وان التنظيم الهندسي أو الزخرفي في مادة السليكا وغيرها من التحويرات الجسمية على مكونات الغلاف فتكون في العادة متماثلة في كلا الجزأين، وعادة ما تعتمد كصفة تصنيفية عند المقارنة بين أفراد الجنس الواحد أو الأجناس المتقاربة وراثيا.

كما أن شكل المصراع أو الغلاف النهائي قد يأخذ مظهر بيضاوي، دائري، أسري، مثلث، شريطي أو متعدد الأضلع وغيرها من الأنماط، والشكل (12-11) بين التراكيب الأساسية للخلية الدايتومية وشكل هذه الخلية في المنظر الأمامي والجانبي وموقع الراقي والعقد المركزية central nodule والعقدتين القطبيتين polar nodules وغيرها من مكونات وشكل الخلية الدايتومية.



(أ)

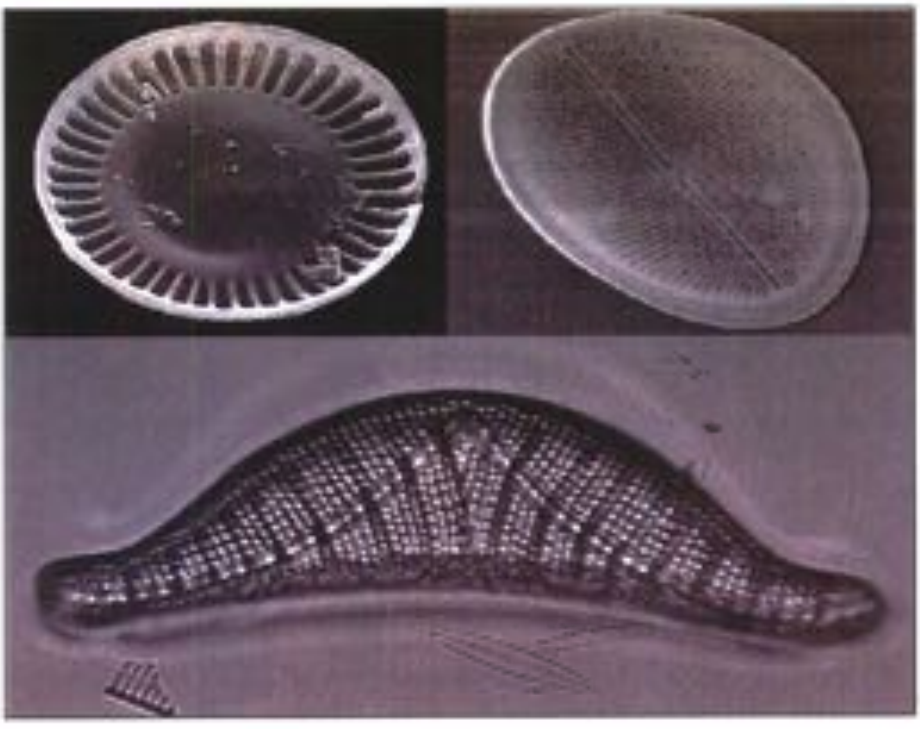


(ب)

شكل (12-11) (أ) مكونات جزيئي الغلاف. (ب) التركيب العام للخلية الدايتومية الريشية والمركزية.

وعنـد دراسـة التتـابع الجينـي Genome sequencing في الـدايتومات وجـد البـاحثون (Monsanto, et al 2005, Bowler,2005، Maheswari et al,2005) وغيرهم بـأن مجموعـة الـدايتومات المركزيـة والممثلـة بـالجنس *Thalassiosira pseudonana*، وكـذلك أفـراد جـنس *Phaeodactylum tricornutum* من الدايتومات الريشية تمتلك أفرادها تتابع جيني مميز وخاص بالدايتومات عن سواها من الطحالـب، حيـث أوضـحت الدراسـات الأولية بـأن تحديـد المناطق الوظيفية وغير الوظيفية ودور كلا منها تمتلك تتابع جيني يقدر بحوالي 1,000 وحدة ESTs في الجـنس *P. tricornutum* وتحـت التتـابع مـن ESTs كـان 12,000، وأن الجـزء المعلومـاتي EST-database الدايتومي قد مكن الباحثين من عمل دراسة تحليلية مقارنة بين التركيب الخلوي لأفراد *P.tricornutum* وبين ما هو مـسجل من proteomes الكامـل في الطحالـب الخـضراء مـن جـنس *Chlamydomonas reinhardtii* والطحالـب الخمـراء مـن جـنس *Cyanidioschyzon merolae* والدايتومات المركزية من جنس *T. pseudonana*.

كما تتميز جميع أنواع الدايتومات كذلك بوجود البلاستيدات الملونة وقد تكون واحدة أو أكثر، كذلك وجود نواة واضحة، كما بينت الدراسات البيوكيميائية والفسلجية للدايتومات بأنها تخزن الغذاء في خلاياها بيئة زيوت وليكوسين. أما الدراسات التشريحية الحديثة فقد أكـدت وجـود الخيوط الشعاعية strata التي تتكون من السليكا والتي تمتد من حافة البروتوبلازم إلى الأخـدود الوسطي للخلية أو الرافي raphe، وان أعداد هذه الخيوط ضرورية جدا للتشخيص والتفريق بين الأنواع بالإضافة إلى الشكل الخارجي وطبيعة التناظر. والنماذج التالية الموضحة في الشكل (12-12) تبين التوزيع المختلف للخيوط الشعاعية strata في أنواع مختلفة من الدايتومات.



شكل (12-12) توزيع الخيوط الشعاعية strat في نماذج مختلفة من الدايتومات.

والخلية الدايتومية عادة ما تدرس تحت المجهر وذلك لصغر حجمها كما بينا سابقا من جهة ولزيادة التوضيح من جهة أخرى، وقد بينت الدراسات المجهرية بأنها تمثل مادة جيدة للدراسات الخلوية، وذلك لكون الخلية الدايتومية تمتلك مجموعة كبيرة من الأجزاء والتكوينات الجيدة الوضوح والمسماة frustule خاصة عندما يزال الغلاف أو الغطاء الخارجي لها باستخدام بيروكسيد الهدروجين Hydrogen peroxide ولكن بطريقة دقيقة للمحافظة على الشكل العام للتراكيب الداخلية، ومن الأجناس التي يمكن فيها ملاحظة التركيب التفصيلي لتكوينات الغلاف والخيوط الشعاعية والصبغات الصفراء البنية للكلوروبلاست هي جنس *Coscinodiscus* من الفائيات المائية كبيرة الحجم وكما في الشكل (12-13).

شكل (12-13) صورة مكبرة لجنس *Concinodiscus* توضح تركيب الغلاف والخيوط الدايتومية وتوزيع الصبغات في البروتوبلاست.

تقسيم الدايتومات: Diatoms classification

تضم الأوالي الدايتومية حوالي 100,000 نوع حيّ موزعة في مختلف البيئات، لذلك خضعت عملية تصنيفها إلى اجتهادات عدة، إلا أن تصنيف الدايتومات يعتمد بالدرجة الأساسية على ترتيب الجدار وشكله العام ونوع التناظر النهائي لجسم الخلية والتتابع الجيني وطبيعة الحركة وغيرها من الأسس الخاصة بكائنات هذه المجموعة من الأوالي (Wallace, 2008). ويسمى الجدار مع محتواه من البروتوبلاست Frustulla، وقد صنفت الدايتومات على أساس شكل الغلاف وتركيبه ونوع الزخرفة فيه إلى مجموعتين، الأولى شعاعية التناظر والثانية جانبية التناظر، وبعد دراسات مستفيضة توصل بعض العلماء أمثال (Chapmam & Chapman 1973, Reimann 1960). إلى تقسيم الدايتومات إلى صف أو طائفة واحدة هي طائفة الدايتومات Diatomophyceda وتشمل رتبتين هما:

1- رتبة الدايتومات الريشية **Order: Pennales** وتمتاز أفرادها والتي تدعى أحياناً pennales بتناظر جانبي Bilateral symmetry وتتكاثر لاجنسياً بالانشطار، وجنسيا بواسطة جيتات

أميبية متماثلة amoeboid gamets، وتتحرك إفرادها بالحركة الانزلاقية gliding motion وأفرادها تتواجد في الغالب إما ملتصقة أو في الترسبات الطبقية أو في التربة الرطبة.

2- رتبة الدايتومات المركزية **Order: Centrales** أو Centrobacillariophyceda وهي دايتومات ذات تناظر شعاعي radially symmtrical وتتكاثر بالانشطار لاجنسيا، أما التكاثر الجنسي فيها فيكون بواسطة الأمشاج غير المتماثلة anisogamy أو بالتكاثر البيضي odogamy وتكون أمشاج ذكرية متحركة motile mede وهي في الغالب من الفوائم البحرية.

أما الباحثان (Round & Crawford, 1990) فيشيران إلى أن الدايتومات ممكن أن تقسم إلى ثلاثة طوائف هي:

1- طائفة الدايتومات المركزية Class: Centric diatoms وتدعى كذلك Coscinodiscophyce(da).

2- طائفة الدايتومات الريشية (عديمة الراقي) Class: Pennate diatoms with out raphe وتدعى (Fragilariophyceda).

3- طائفة الدايتومات الريشية ذات الراقي Class :Pennate diatoms with raphe وتدعى كذلك (Bacillariophyceda).

أما الباحثون (Hoek et al. 1995) فقسموا الدايتومات إلى طائفتين أو قسمين Class رئيسين هما:

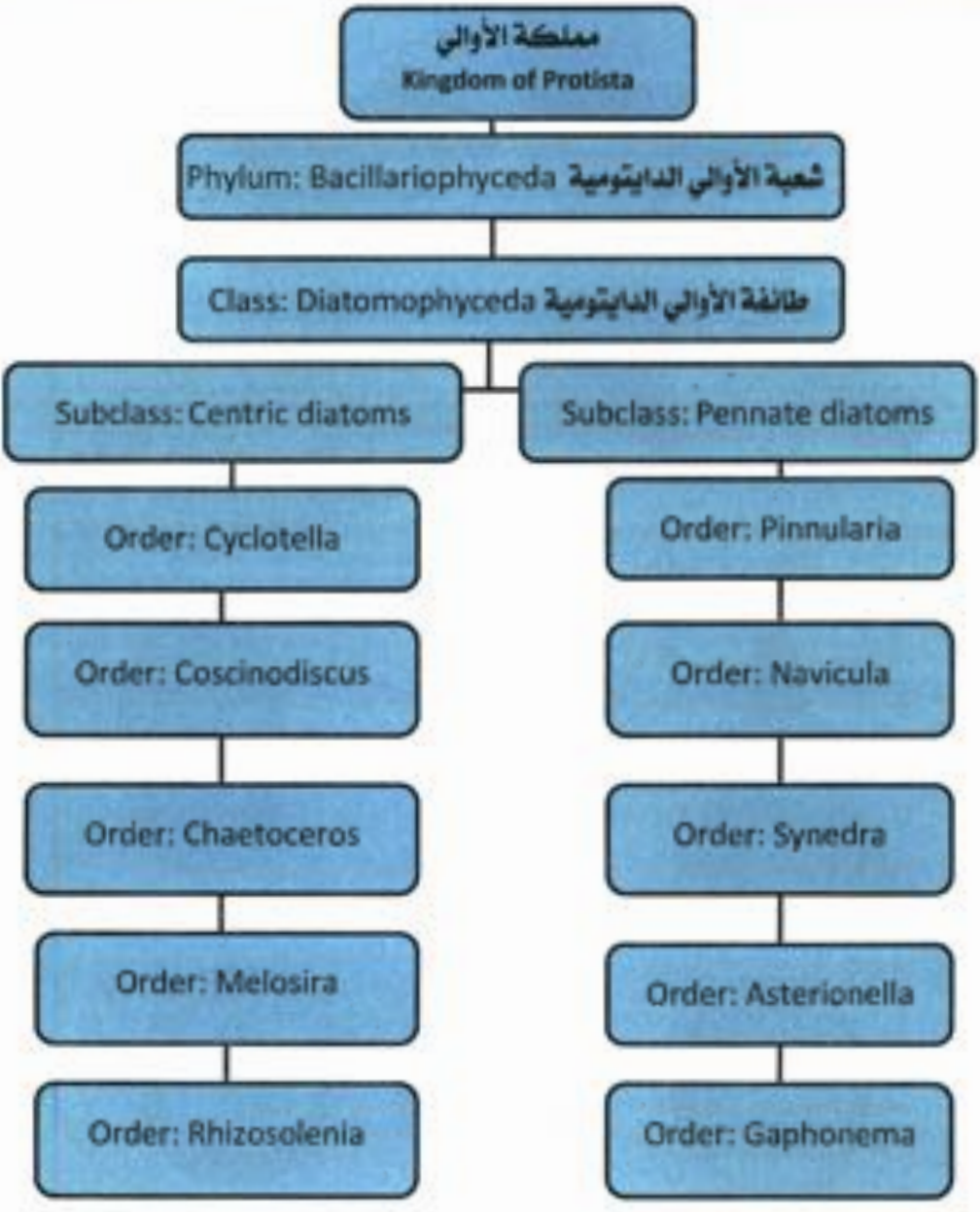
1- طائفة الدايتومات الريشية Class: Pennate diatom والتي تسمى أيضا Pennatibacillariophyceda, أو (Pennales) وهي تظهر تناظرا جانبيا bilateral symmetry كما في الأجناس Epithemia smithii وPinnularia وهي في الغالب من دايتومات بيئة المياه العذبة freshwater habitats.

2- طائفة الدايتومات المركزية Class: Centrate diatoms وتسمى أيضا Centrobacillariophyceda أو (Centrales) وهي عامة كائنات شعاعية التناظر radially symmetrical ومن أمثلتها Melosira وهي من دايتومات المياه المالحة marine habitats.

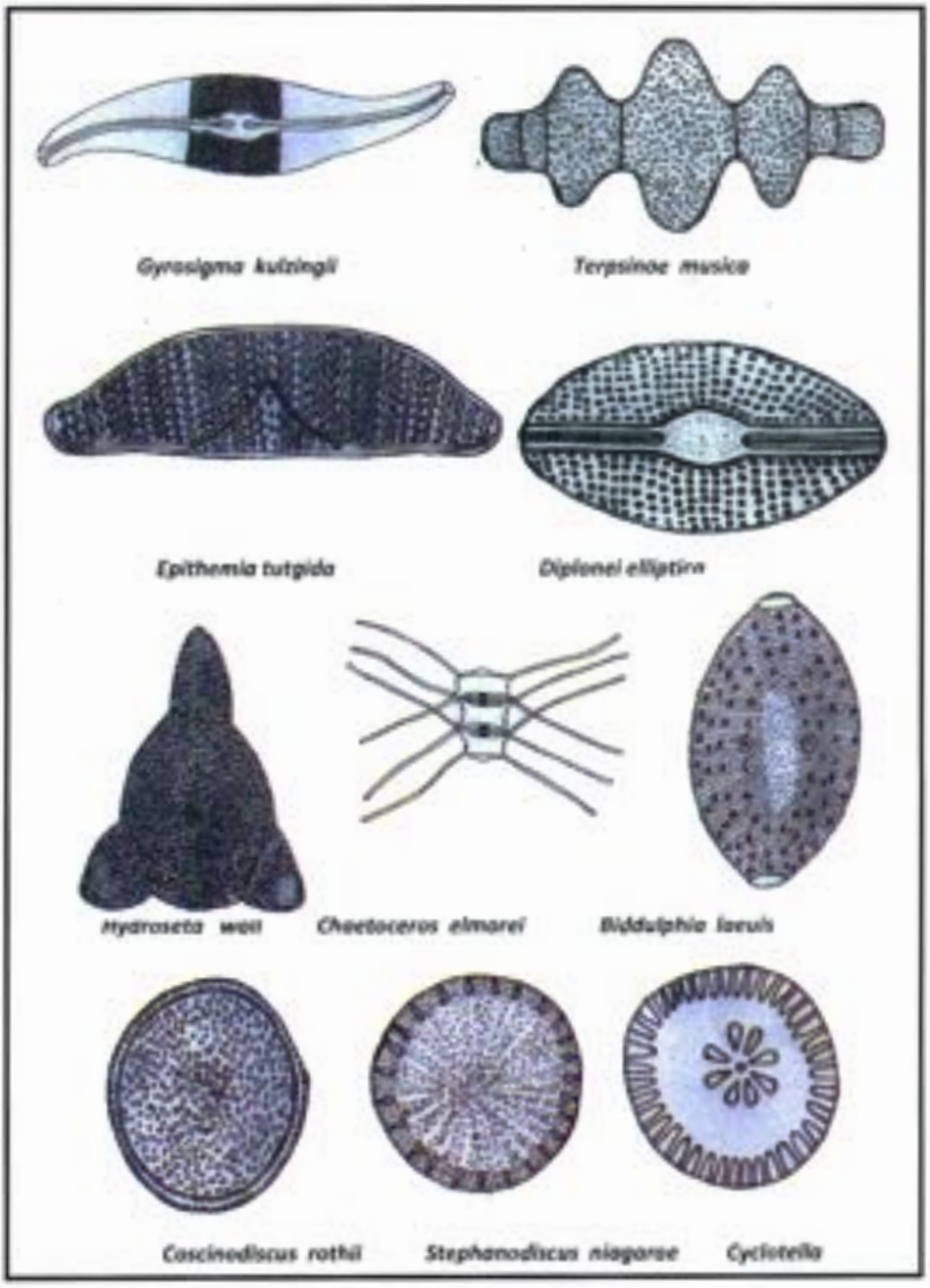
وهذا التقسيم هو الأكثر استخداما في المراجع العلمية.

وعموما سوف نتبع التصنيف المبين في المخطط (12-14) التالي، لتماشيا مع منهجية الكتاب وسهولة ترتيب المعلومات:

والشكل (12- 15) يمثل نماذج مختلفة من كلا الطائفتين من هذه الدايتومات.



شكل (12-14) مخطط تقسيم الأوالي الدايتومية.



شكل (12-15) نماذج مختلفة من الدايتومات الريشية والمركزية.

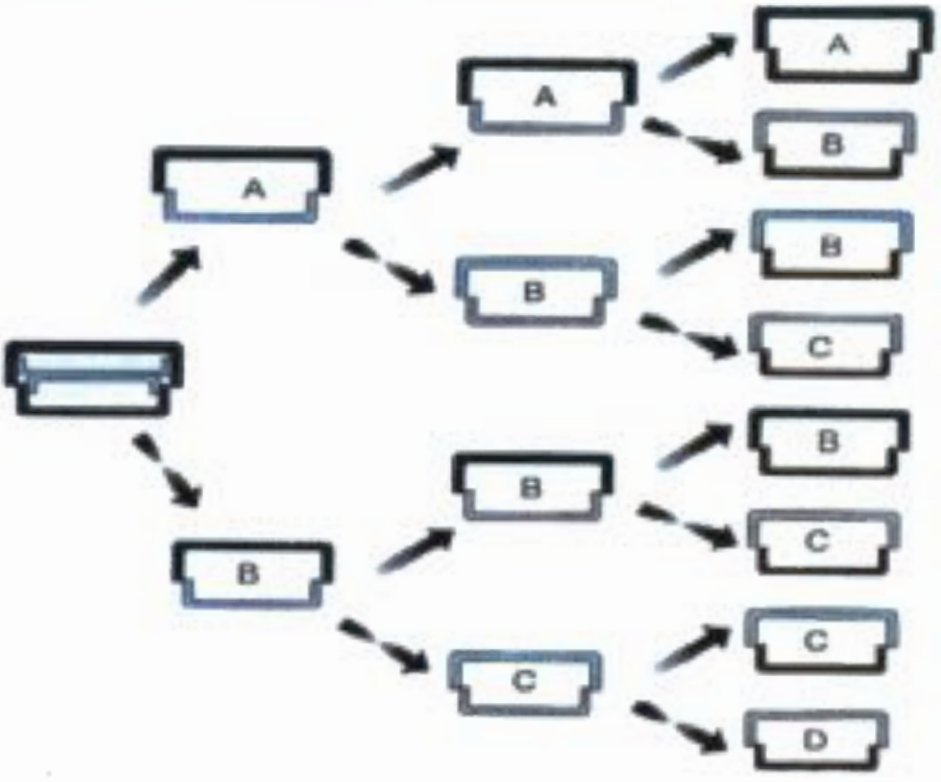
دورة الحياة والتكاثر في الأوالي الدايتومية:

تتميز دورة الحياة وطريقة التكاثر في الأوالي الدايتومية عن غيرها من الطحالب وهذا ما يدعم كذلك قربها من طبيعة الحياة والتنظيم العضوي في عالم الأوالي منه في عالم الطحالب، وعند متابعة هذه الدورة نجد أن هنالك نمطين من التكاثر تلجأ إليهما الخلايا الدايتومية الناضجة متميزين وخاصين بهذه المجموعة من الأحياء وهما:

(1) التكاثر اللاجنسي بانشطار البروتوبلاست :Protoplast division

وفي هذا النمط التكاثري يحصل انقسام لكتلة البروتوبلاست كاملة إلى جزأين يأخذ كل جزء منهما شطر من الغلاف المصراعي إما الجزء العلوي epitheca أو الجزء الأسفل hypotheca من الغلاف، يبدأ كل جزء بالنمو ويكون مصراع آخر جديد بعد فترة قصيرة من الزمن لكي يكتمل غلاف الجسم، وكنتيجة لعملية التكاثر فأن الخلايا الجديدة تنزع من عملية إكمال الحجم وهذا يعتمد على نوع وشكل الدايتومة نفسها، ولكن بعض الدراسات قد أشارت إلى أن إحدى الدايتومات البنوية daughter cell قد تصبح من 8- 10 مرات اكبر حجما من شقيقتها الناتجة من الانشطار (Hasle et al, 1996). وعند المقارنة مع بقية الأوالي ومعظم الكائنات الأخرى التي يحصل فيها الانقسام المباشر بطريقة الانشطار الثنائي، نجد انقسامات نووية أو استطالة وانقسام النواة ثم يتبعه انشطار تدريجي السايتوبلازم ولم نلاحظ ذلك في الدايتومات.

والشكل (12- 16) التالي يبين مراحل الانشطار المتعاقب وتكون أعداد جديدة من الدايتومات من الخلية الأم.



شكل (12-16) مراحل الانشطار الثنائي في الأوالي الدايتومية.

عن (Frank Jochem,2007).

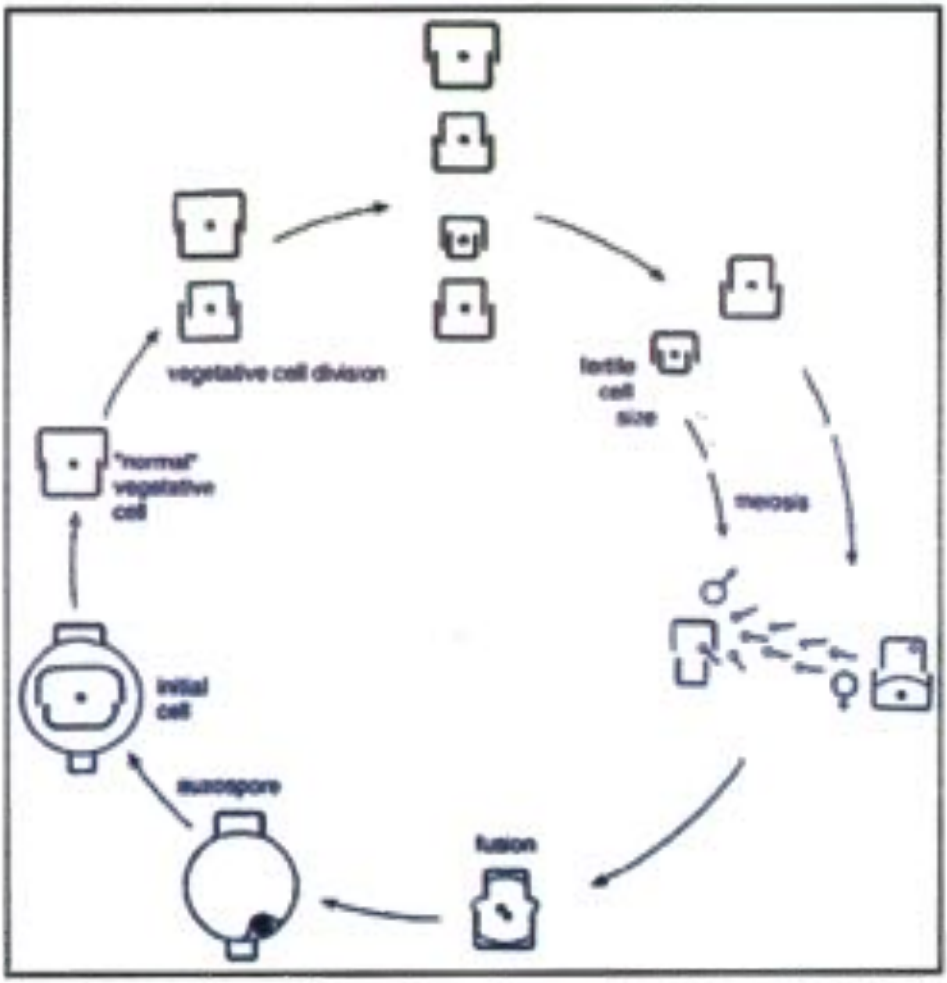
(2) التكاثر الجنسي بتكوين اللاقحات Zygotes.

ويحصل هذا النمط بشكل غريب ومتميز في عالم الدايتومات حيث يحصل أن تخرج كتلة البروتوبلاست كاملة من غلاف الخلية وتتحرك حركة أميبية بحثاً عن كتلة متحركة من خلية أخرى، وتسمى هذه الكتل افلامية بالأمشاج المتحركة motel mede ويتصرف كلا منها كأمشاج ذكرية وأنثوية وينتج عن ذلك مندمج خلوي يسمى اللاقحة (Zygote) ثنائية المجموعة الكروموسومية (2n). وبذلك تتميز دورة الحياة بما يلي:

- الخلية الخضرية vegetative cells تكون ثنائية المجموعة الكروموسومية diploid وتعاني من

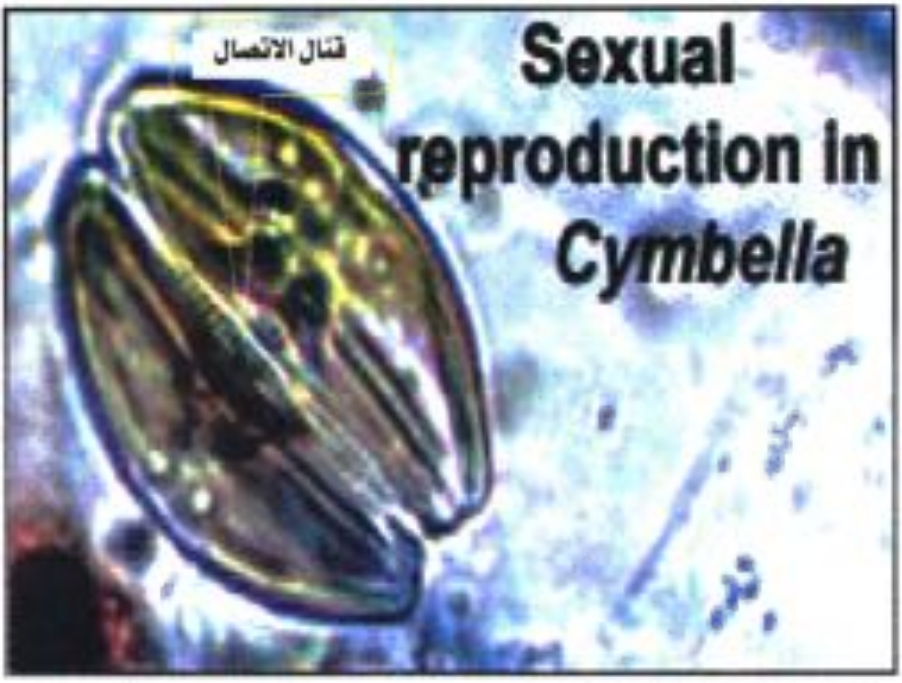
انقسام مشيجي مباشر متضاعف diplontic gametic meiosis ينتج عنه جيتات أو أمشاج تحمل نصف العدد الكروموسومي.

- الدايتومات من نحت طائفة ريشية الشكل تكوّن جيتات متماثلة isogamous لا يمكن تميز الذكرية منها عن الأنثوية، بينما الدايتومات المركزية فتكون الأمشاج فيها من النوع البيضيّ Oogamous ومتباينة وتتميز إلى صغيرة ذكرية وكبيرة أنثوية.
- تلجأ أغلب الدايتومات إلى التكاثر الجنسي عندما تكون متقدمة في العمر، ولربما يكون ذلك كوسيلة من وسائل المحافظة على النوع وتقوية الخصائص الوراثية، وقد تم ملاحظة أن الخلايا الكبيرة في الحجم هي التي تتصرف وكأنها خلايا أنثوية الصفات بينما الصغيرة فتحمل الخصائص الذكرية في عملية التكاثر.
- الخلايا الأنثوية الواقعة تحت متغيرات الانقسام الاختزالي الأول meiosis I وحركية السايتوبلازم (غير المتناسقين) تنفتح تدريجياً وتمر بانقسام اختزالي ثان Meiosis II غير متناسق كذلك وينتج عنه خلية بيضية واحدة.
- بينما الخلايا الذكرية فتمر بعدة انقسامات مباشرة mitotic divisions وسريعة وتعطي ثمانية خلايا صغيرة ذات غلاف خلوي كامل، تنمو داخل هذا الغلاف وتمر بمرحلة انقسام اختزالي متكرر بحيث تعطي كل خلية أربعة أمشاج متحركة تسمى spermatozoids.
- تكون هذه spermatozoids صغيرة جدا، تمتلك سوط مفرد متميز نحيف جدا ولا تحمل أية نوع من الكلوروبلاست، تتحرك هذه الأمشاج السوطة نحو الخلايا البيضية الكبيرة وتحصل التخاصب وينتج عنة لاقحة تنمو بسرعة كبيرة وتكون لنفسها تركيب بوغي محاط بغلاف من السليكا يدعى auxospore.
- الخلية البيضية الناتجة تنفتح وتفرز كتلة البروتوبلاست frustules، وبالتالي يكون الإخصاب وتكوين الخليّمة أو الكتله السفدّية papilla مكشوف لاستقبال الأمشاج الذكرية المتحركة spermatozoids وكما في الشكل (12-17).



شكل (12-17) مراحل التكاثر الجنسي في الدايتومات (Hasle et al, 1996) .

- في بعض الحالات تقوم الخلايا الفتية الناتجة من التكاثر المذكور والتي تدعى بالخليات السفدية a copulation papilla بالارتباط مع بعضها بطريقة مماثلة للاقتران conjugation ينتج عنها ذوبان تدريجي لمنطقة الاتصال في الأغلفة اللزجة، وتتكون من جراء ذلك قنال تتبادل الخليتين من خلالها المادة البروتوبلازمية والتخصيب النووي كحالة من تقوية الخصائص الوراثية وتحسين النوع الحيوي، كما يحدث في بعض أفراد جنس Cymbella والموضحة بالشكل (12-18) التالي.



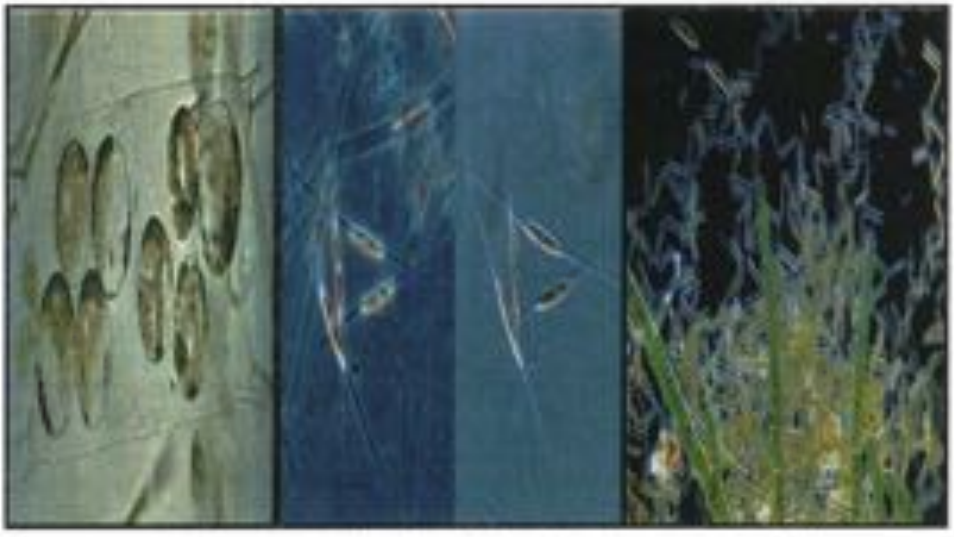
شكل (12-18) حالة الاقتران بين أفراد جنس *Cymbella* يبين تكون قنال الاتصال والتبادل بين محتويات بروتوبلاست الخليتين.

- يحصل الاندماج الخلوي بين الخليتين المندمجتين بالكامل، ولكن الأنوية أحادية المجموعة الكروموسومية haploid nuclei تبقى منعزلة حتى مرحلة تشكل اللاقحة zygote الناتجة من الاندماج، ومن ثم يتكون auxospore ويبدأ تدريجياً بتكوين الغلاف ذات السليكا ويتحول إلى فرد ثنائي المجموعة الكروموسومية.
- يتم التكاثر بشكل منتظم ويكتمل عندما تنفصل الخلايا عن بعضها وتقوم بإفراز غلاف لزج يمثل بداية تكوين الغلاف السلكوني النهائي.

البيئة والتوزيع:

تظم الدايتومات أكثر 200 genera جنس من الدايتومات الموجودة حالياً في البيئة تتوزع على حوالي 100,000 نوع موجد فعلياً على قيد الحياة وهي في العادة أحياء مجهرية الحجم، ولكن بعضها يصل إلى حوالي 2 ملم طولاً (Round & Crawford, 1990, Canter & Lund, 1995). وفي

العادة تنتشر هذه الأوالي إما بشكل هائمات Planktonic diroms في بيئة المياه الجارية من الأنهار والبحار والجداول والقنوات والممرات المائية المختلفة، أو في بيئة المياه الساكنة من بحيرات وخزانات مياه وبرك بيولوجية وواحات وعيون وآبار وغيرها، ومن أمثلتها الأجناس التالية *Nitzschia, Melosira, Calonies, Diplonesis* وغيرها (Furnas, 1990) وإما الدايتومات التي تعيش في التربة فتواجد بأراضي المناطق المعتدلة التأثير أو القلوية والأراضي الرطبة ومن أكثر أجناسها تواجدا *Cymbella, Navicula, Surirella* (Schieber, et al 2000) أو توجد هذه الأحياء ملتصقة على الصخور وعلى جوانب الممرات المائية أو على أجزاء النباتات المائية الكبيرة حيث تتجمع على شكل كتل هلامية أو جيلاتينية القوام كما في حالة الأجناس *Cocconies Cymbella, Diatoxma*. وغيرها (Round, 1980, Rermann, 1960.) كذلك وجدت في الغابات المطرة على أوراق الأشجار، وتعيش الأوالي الدايتومية كما بينا سابقا بصورة منفردة Is dated أو تشكل مستعمرات colonial داخل غلاف مشترك، أو تلتصق على الطحالب الخيطية الكبيرة والنباتات المائية المختلفة، كما وجد البعض منها ملتصقا على الرواسب القاعية والصخور والأجسام الصلبة في البيئة المائية. والشكل التالي يبين بعض حالات توزيعها.



شكل (12- 19) نماذج من أنماط انتشار وتوزيع الأوالي الدايتومية في المياه.

وتعتبر الدايتومات من الأوالي حرة المعيشة ذاتية التغذية النباتية الكاملة Holophytic nutrition، حيث يساعد وجود الصبغات التمثيلية من اليخضور a, c بالإضافة إلى الكاروتينات والزانثوفيلات على القيام بعملية التثبيت الضوئي.

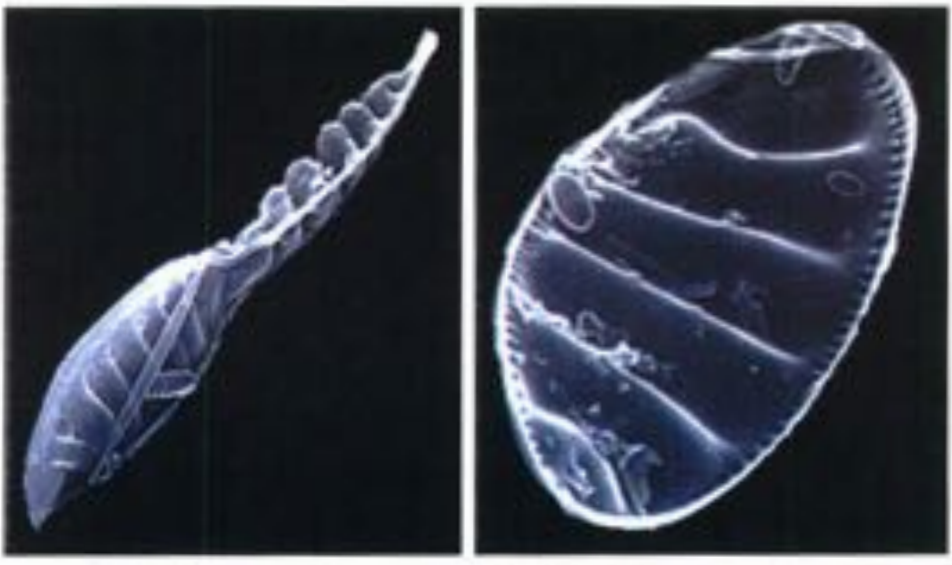
وفي العادة تنتشر هذه الأوالي إما بشكل هائمات Planktonic diroms في بيئة المياه الجارية من الأنهار والبحار والجداول أو في بيئة المياه الساكنة من بحيرات وخزانات مياه وبرك بيولوجية ومن أمثلتها الأجناس التالية *Nitzschia, Melosira, Calonies , Diplonesis* وغيرها، أما الدايتومات التي تعيش في التربة فتتواجد بأراضي المناطق المعتدلة التأثير أو القلوية ومن أكثر أجناسها تواجدا بالأراضي Cymbella, Navicula, Surirella. أو توجد هذه الأحياء ملتصقة على الصخور وعلى جوانب الممرات المائية أو على أجزاء النباتات المائية الكبيرة حيث يتجمع على شكل كتل هلامية أو جيلاتينية القوام كما في حالة الأجناس *Cymbella ,Diatoxma ,Cocconies* وغيرها (Treguer, et al, 1995 ،Round,1980, Remann,1960). ومن أشهر أجناس الدايتومات المعروفة في مختلف مناطق العالم الأجناس التالية *Melosira , Stephanopyxis , Coscinodiscus , Chaetoceros, Sceletonema Fragilaria , Odontella , Bacillaria , Navicula , Nitzschia , Cylindrotheca Gyrosigma , Surirella*

عوامل توزيع الأوالي الدايتومية:

يعتمد توزيع الأوالي الدايتومية كما يشير إلى ذلك الباحثون (Canter and Lund, 1995, Mann, 1999.Siever,1991,) وغيرهم في جملة من الدراسات التي تناولت فسلجة وحركية وتوزيع هذه الأحياء وعلاقته بمختلف العوامل البيئية المحيطة، أو بالخصائص التركيبية المختلفة والتحويرات الجسمية التي حصلت لأفرادها كحالة من التكيف التطوري مع مجمل المتغيرات التي رافقت التأريخ التطوري للدايتومات بشكل خاص وما حصل من متغيرات للمجتمعات الحيوية الأخرى، وقد توصلت هذه الدراسات إلى أن هذا التوزيع والانتشار يعتمد على العوامل التالية:

1- درجة الحرارة: تتفاعل هذه الأحياء بشكل مباشر مع درجات الحرارة فمنها ما يفضل المياه منخفضة الحرارة أو الباردة كما في الأجناس *Cymatopleura* و *Entomoneis* ، وهذا نجدها منتشرة في بيئة المناطق الباردة في الجزء الشمالي من الكرة الأرضية، وعلى العكس منها ما ينتشر

بشكل واسع في المياه الدافئة والحارة كما في معظم الدايتومات الموجودة في المياه الاستوائية ومياه آسيا وأفريقيا والمياه الهندية والاسترالية وغيرها، فعلى سبيل المثال تم تشخيص أكثر من (593) نوع في المياه العراقية الساكنة منها والجارية ومن أهمها الأجناس *Cyclotella* و *Melosira* (مولود وآخرون 1990).



شكل (12-20) أجناس *Entomoneis* ،*Cymatopleura* من دايتومات المياه الباردة.
عن (Bowling Green State University Center,2007).

2- تيارات الماء **Water Circulation** : أثبتت الدراسات البيئية بأن وفرة وحجم وكثافة الدايتومات تتأثر بشكل واضح بنوعية التيارات المائية وطبيعة الأمواج الساحلية وطريقة اختلاط المياه كما في بيئة المصبات بشكل خاص، ومن الأدلة على تغير كثافة وحجم الدايتومات هو ما يحصل من التغيرات التي ذكرناها خلال حصول عملية الانبثاق القاعي upwelling واختلاط مياه القاع وأفضل الدورات البحرية خلال فترة الأنجماد وعندما يحدث ما يسمى sea level dropped كما بينت الدراسات بأنها تمتلك تأريخ تطوري متشابه عبر الزمن مع شكل وحركة التيارات في المحيطات وطريقة وحركة الأقطاب للمنطقة القاعية.

3- **عامل ضوء الشمس Sunlight**: لكون الدايتومات تعتمد على ضوء الشمس لغرض القيام بعملية البناء الضوئي لذلك فأنها تتحدد في المعيشة في المنطقة المضيئة من الماء، وفي أحسن الأحوال نجدها في عمق لا يتجاوز 200 متر في بيئة المحيطات والبحار والمياه الأخرى العميقة.

4- **مقدار التحمل Tolerance** : للملوحة والمغذيات: كما يحصل في الأنواع التي تعيش في المياه المويلحة أو قليلة الملوحة brackish water أو المياه الضحلة *Shovelines* بسبب ضعف تحملها لخاصية الملوحة وبعض المتغيرات الكيميائية للمياه، هذه المواطن الضيقة في متغيراته مع ما يتناسب مع حساسية مجتمع هذه الأحياء.

5- **طبيعة غلاف الدايتومات**: يعتبر غلاف هذه الأحياء ثقيل بشكل متميز وخاصة بعد موتها لذلك تتساقط بسرعة نحو القاع المائي، وعند نزولها تقوم بسحب الكربون من المياه السطحية وتحوله إلى رواسب قاعيه sediments.

استخدام الدايتومات في التطبيقات الحيوية:

تحتل الأوالي الدايتومية أهمية بيئية وحياتية كبيرة في علم الأحياء بشكل عام ودراسة علم الأوالي وتطبيقاته بشكل خاص، وتأتي هذه الأهمية من خلال ما تتمتع به هذه المجموعة من الأحياء من الخصائص والمساهمات الحياتية والصناعية التالية:

- تساهم الدايتومات وخاصة البحرية منها بتشكيل الكتلة الحيوية الأكبر من العوالم البحرية وخاصة في البيئات المفتوحة.
- تساهم الدايتومات بدورة ثاني أو كسيد الكربون حيث يشير الباحث Thomas Mock من جامعة Washington إلى أن حوالي 40٪ من الكربون العضوي المطروح في مياه البحار يعود إلى نشاط الدايتومات.
- تساهم الدايتومات في استخدام تقنية موحدة لتقدير paleosalinity, paloedepth والمغذيات في المناطق المختلفة الأعماق خلال الأزمان الجيولوجية المختلفة نتيجة لامتلاكها تراكيب جسمية تحتفظ بقوامها لفترات زمنية كبيرة وبدرجة عالية من التحسس، حيث تقدر أعمار الريشية منها بحوالي 70 مليون سنة بينما المركزية فتقدر بحوالي 120 مليون.

- تحتل الدايتومات أهمية كبيرة في الإنتاج الحيوي حيث تقدر مساهمتها بأكثر من 45٪ من مجمع الإنتاجية المائية الأولية primary production وبشكل خاص في البيئة البحرية.
- تعتبر مصدر مهم من المصادر الغذائية المهمة في السلاسل المائية بشكل خاص حيث تكون غذاء مفضل لعديد من الأوالي والقشريات والأسماك الصغيرة وغيرها من الأحياء المائية.
- تساهم في التوازن البيئي بين O_2 و CO_2 وذلك من خلال مساهمتها في تثبيت وإنتاج الأوكسجين من خلال كونها تشكل كتلة حيوية مهمة ضمن المنتجات الحيوي في البيئات المائية المختلفة حيث تشير الدراسات على أنها مع بقية الطحالب تساهم بحوالي 70٪ من الأوكسجين في البيئة.
- تعتبر كواشف حيوية في تحديد نوعية المياه في الأبار والعيون بشكل خاص، حيث أن البروتينات المتميزة في تركيبها في الدايتومات، بحيث يمكن الكشف عنها أو متابعتها عندما تكون الدايتومات عالقة أو ذائبة في عمود الماء.
- تركيب الجدار السليلوزي للدايتومات والبروتينات الخاصة فيها يمكن أن تساعد في الاستخدام البيوكيميائي والبناء الجزيئي والدراسات الوراثية في متابعة التتابع الجيني في الكائنات المجهرية وذلك لسهولة تربيتها معمليا مقارنة مع البكتريا.
- الكثافة العالية للدايتومات تجعلها تساهم بشكل جوهري في خفض الايونات القليلة من البوتاسيوم والصوديوم والكلور في المياه التي تنمو فيها وتقلل من عسرتها بشكل ممز خاصة في المياه العذبة.
- نتيجة لامتلاكها أغلفة تحتوي على السيليكات المرتبطة مع جزيئات الماء بحيث تعطي بقاياها المتساقطة مواد صلدة جداً في الترسبات القاعية (التربة القاعية) تستخدم في صناعة مواد المرفعات والفلتره وفي تغليف أبدان الأفران الحرارية وكذلك في مواد الفشط ومعاجين الأسنان وغيرها من الاستخدامات الصناعية.